THESIS Erlangen 50249A

DIE BEFESTIGUNG KÜNSTLICHER ARME.

VON DER

TECHNISCHEN HOCHSCHULE FRIDERICIANA ZU KARLSRUHE

ZUR ERLANGUNG DER

WÜRDE EINES DOCTOR-INGENIEURS

GENEHMIGTE

DISSERTATION,

VORGELEGT VON

DIPL.-ING. C. BIEL
AUS HAMBURG,
ASSISTENT AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN KARLSRUHE.

REFERENT: GEH. HOFRAT PROF. E. BRAUER.
KORREFERENT: PROFESSOR DR. DEMOLL.

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 3. MÄRZ 1917.

WIESBADEN
VERLAG VON J. F. BERGMANN
1917.

DIE

BEFESTIGUNG KÜNSTLICHER ARME.

VON DER

TECHNISCHEN HOCHSCHULE FRIDERICIANA ZU KARLSRUHE

ZUR ERLANGUNG DER

WÜRDE EINES DOCTOR-INGENIEURS

GENEHMIGTE

DISSERTATION,

VORGELEGT VON

DIPL.-ING. C. BIEL
AUS HAMBURG,
ASSISTENT AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN KARLSRUHE.

REFERENT: GEH. HOFRAT PROF. E. BRAUER,
KORREFERENT: PROFESSOR DR. DEMOLL.

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 3. MÄRZ 1917.

WIESBADEN
VERLAG VON J. F. BERGMANN
1917.

Vorliegende Arbeit ist erschienen im

„Archiv für Orthopädie, Mechanotherapie und Unfallchirurgie“
XV. Band, 1. Heft, 1917,
herausgegeben von
Dr. J. Riedinger, a. o. Professor der Orthopädie in Würzburg,

sowie als selbständige Schrift 1917, beides im Verlage von J. F. Bergmann in Wiesbaden.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Im folgenden ist der Versuch gemacht, die wichtigsten Befestigungsarten künstlicher Arme zusammenzustellen und womöglich ihre Vor- und Nachteile von gemeinsamen Gesichtspunkten aus zu besprechen. Diese Darstellungsart wird, wie ich glaube annehmen zu dürfen, zunächst denen willkommen sein, welche noch nicht zu einem abschliessenden Urteil über die bekannten Befestigungsarten gekommen sind, aber doch für den einzelnen Fall eine Befestigung auszuwählen haben; ihnen bietet diese Darstellung eine Übersicht des Bestehenden und zugleich einige Gesichtspunkte für die Beurteilung, die der Fachmann, soweit sie ihm richtig erscheinen, zu Rate ziehen kann. Den grösseren Vorteil und Hauptzweck dieser Darstellung sehe ich aber darin, dass die eingehenden mechanischen Betrachtungen besonders bei Oberarmstümpfen dem selbst konstruierenden, Pionierarbeit leistenden Spezialarzt zur Anregung werden können, noch vorhandene Mängel in ihren Ursachen klarer zu erkennen und zu beseitigen. Diese Möglichkeit lässt mich auch hoffen, dass gerade der das Gebiet vollständig beherrschende Orthopäde und Chirurg es nicht verschmähen wird, hier die Auffassung und Betrachtungsweise des Ingenieurs kennen zu lernen, obgleich er diesem an Erfahrungen doch unendlich überlegen ist.

Schwierigkeiten dieser Darstellung liegen zunächst darin, dass über viele Fragen noch kein übereinstimmendes Urteil der Autoritäten sich durchgerungen hat, und dass es mir in der Regel nicht möglich war, die einzelne Befestigungsart beim Gebrauch durch Verletzte so eingehend zu studieren, wie es an sich wünschenswert wäre. Daher können diese Ausführungen auf Unfehlbarkeit natürlich keinen Anspruch machen. Die aus beiden Gründen entspringende Notwendigkeit, überall das Grundsätzliche herauszusuchen, bringt aber andererseits den grossen Vorteil, von leicht behebbaren, nicht mit dem Wesen der Konstruktion verbundenen Ausführungsfehlern unabhängig zu werden, und die einzelnen Aussagen genauer begründen zu können.

Um die verschiedenen Befestigungsarten möglichst klar und sachlich zu beurteilen, habe ich zunächst die Aufgaben entwickelt, welchen die Befestigung dienen soll. Von den Forderungen, die sich so aus reiner Überlegung ergeben, sind allerdings einige weniger wichtige nicht bei allen Konstruktionen befriedigend gelöst, auch nicht immer als nötig empfunden. Trotzdem habe ich zur

Beurteilung der bekannten Befestigungsarten sie alle als Vergleichsmassstab benutzt, und zwar erstens, um auch die besseren Bauarten, welche ihnen genügen, richtig würdigen zu können, und zweitens, weil bei denjenigen Befestigungsarten, welche ihnen nicht ganz genügen, dadurch Mängel erkannt werden, und das zu der Anregung führt, diese wenn möglich zu beseitigen. Mit den aufgestellten Forderungen soll also nicht gesagt sein, was in jedem einzelnen Falle vom Handwerker verlangt werden kann — denn das wäre im wesentlichen doch nur die Wiederholung bekannter Konstruktionen —, sondern sie sollen dem Neues schaffenden Pionier als Richtlinien dienen und ihm ein noch nicht immer erreichtes Ziel zeigen.

Die Abbildungen, welche zum Teil aus der Literatur zusammengestellt sind, sollen in der Regel nur als Beispiele weiterer Möglichkeiten dienen und sind der Entwicklung des allgemeinen Gedankens vielfach nachgestellt. Es sei mir gestattet, hier nochmals meinen Dank auszusprechen allen denen, welche so freundlich waren, mir neue Abbildungen oder Druckstöcke zur Verfügung zu stellen oder den Abdruck bereits veröffentlichter Abbildungen zu gestatten, oder mir auf sachliche Fragen erläuternde Auskunft zu geben.

Den Ausführungen liegt folgende Einteilung zugrunde:

Seite

Einleitung 1
Inhaltsübersicht 2
Die Aufgaben der Befestigung am Stumpf im allgemeinen („Längsstützung", „Geradstützung", „Drehstützung") 3
A. Vorderarmstumpf 5
a) Die einzelnen Befestigungsarten:
1. Oberarmhülse 5
2. Oberarmgürtel 6
3. Riemenbindung 7
4. Aufhängung am Stumpf selbst (an Speichenkopf, Schnürfurche) 10
b) Allgemeine Betrachtungen:
Geradstützung 10
Drehstützung 13
B. Oberarmstumpf von mindestens ein Drittel der Oberarmlänge . 15
a) Allgemeine Betrachtungen:
Geradstützung 15
Drehstützung 17
b) Die einzelnen Befestigungsarten:
1. Schulterkappe, (weiche) Jacke 20
2. Schulterkumt, (versteiftes) Mieder 21
Zweiachsige Schultergelenke 24
3. Schultergurt (Kreuzgurt, Nackengurt, Rollgurt) 25
4. Aufhängung am Stumpf selbst (an Knorren, Schnürfurche) 28
C. Absetzung im Schultergelenk und sehr kurzer Oberarmstumpf . 30

Die Aufgaben der Befestigung am Stumpf.

Zunächst sei hier eine kurze theoretische Betrachtung gestattet, welche für Unterarmstümpfe und Oberarmstümpfe gemeinsam, zum Teil sogar auch für Stümpfe der unteren Extremität gilt, und den späteren Überlegungen eine festere Grundlage und grössere Klarheit gibt:

Die eigentliche Aufgabe jeder Befestigung ist ja, den künstlichen Arm[1]) so innig mit dem Stumpf zu verbinden, dass er dessen Bewegungen möglichst genau mitmacht, dass also Lageveränderungen aller Art ihm gegenüber verhindert sind. Das verlangt nach den Lehren der Kinematik eigentlich die Beseitigung von sechs verschiedenen Bewegungsmöglichkeiten, insofern jede beliebige Bewegung stets in dieselben sechs Elemente zerlegt werden kann, so dass mit deren Verhinderung überhaupt jede Beweglichkeit aufhört. Diese sechs Elemente sind: Parallelverschiebungen in drei aufeinander senkrechten Richtungen und Drehungen um drei aufeinander senkrechte Achsen. Nun ergibt sich die Verhinderung von Verschiebungen in den beiden Richtungen quer zum Stumpf in allen Fällen mühelos von selbst durch die Stumpfhülse, so dass nur die vier übrigen Bewegungsmöglichkeiten besondere Beachtung erfordern. Diese aber können, wie sich zeigen wird, nicht in allen Fällen von der Hülse selbst befriedigend verhindert werden, sondern machen meist deren Befestigung an dem nächst höheren Glied oder Körperteil nötig; gerade auf diese, eben nicht immer leicht erfüllbaren Forderungen bezieht sich die vorliegende Arbeit. Fassen wir nun die Drehungen um die beiden Querachsen des Stumpfes, also die Richtungsabweichungen zwischen Hülse und Stumpf nach vorn und hinten und nach links und rechts als Schrägstellungen der Hülse zusammen, so kommt die Aufgabe einer guten Befestigung praktisch darauf hinaus, die Hülse so zu befestigen, dass auch Längsverschiebungen (besonders das Herabgleiten), Schrägstellungen und Drehungen um die Längsachse des Stumpfes verhindert werden. Von diesen drei Forderungen, die wir gelegentlich als **Längsstützung** (bzw. Aufhängung), **Geradstützung** und **Drehstützung** bezeichnen wollen, wird nur die erste, weil ganz unerlässlich, stets erfüllt, während die beiden anderen, besonders bei Unterarmstümpfen, weniger wichtig und nicht immer beachtet sind. Ausser diesen eigentlichen „Aufgaben" der Befestigung bestehen natürlich zahlreiche andere Forderungen, von denen hier nur die beiden betont seien, dass die Beweglichkeit des Stumpfes nach allen Richtungen und der freie Luftzutritt zu Stumpf, Oberarm und Schulter möglichst wenig behindert werden sollen.

An die **Längsstützung** (Verhinderung der Längsverschieblichkeit) werden erhöhte Anforderungen gestellt, wenn Verschiebungen nach beiden Richtungen verhindert werden müssen, wie es bei der unteren Extremität stets der Fall ist.

---

[1]) Der Ausdruck „künstlicher Arm" oder „Kunstarm" wird stets im allgemeinsten Sinne, als Ersatz für „Prothese" gebraucht, und umfasst Arbeitsarme und Schmuckarme. Wenn auch die meisten Betrachtungen wegen der grösseren Bedeutung der Arbeitsarme hauptsächlich für diese bestimmt sind, so habe ich doch den allgemeinen Ausdruck benutzt, solange sie auch für Schmuckarme gültig bleiben. Ebenso umfasst der Ausdruck „Handersatz" Arbeitsansätze und Schmuckhände.

Eine besonders schwierige Aufgabe besteht dann darin, Längsverschiebungen der Hülse auch beim Kraftwechsel möglichst auszuschliessen, so dass sie nicht bei jedem Kraftwechsel etwas auf- und abrutscht. Wie hier nachgewiesen werden möge, liegt bei Kunstarmen dieselbe Aufgabe vor, wenn nach Stodola-Sauerbruch die Stumpfmuskeln zum Antrieb der künstlichen Hand oder eines Greifwerkzeuges benutzt werden sollen, und zwar auch für grössere Kräfte, wie sie der ganzen Leistungsfähigkeit des Muskels entsprechen. Sobald nämlich der Stumpfmuskel sich kräftig zusammenzieht, erhält der ganze Kunstarm das Bestreben, diesem Zuge folgend am Stumpf hinauf zu rutschen, ganz gleich, wie das Antriebsgetriebe (der Mechanismus) der Kunsthand eingerichtet ist, da ja alle Teile desselben doch schliesslich am Kunstarm befestigt sind. Wenn nun die Hülse nicht schon für gewöhnlich in ihrer höchsten Stellung sitzt, und wenn ein solches Aufwärtsgleiten durch die Befestigung nicht verhindert wird, so kann die verfügbare Muskelkraft nicht voll zur Ausnützung kommen, sondern der gefasste Gegenstand wird nur mit derjenigen geringeren Muskelkraft gehalten, die durch den Widerstand der Hülse beim Aufwärtsgleiten zur Geltung kommen kann. Es genügt auch nicht, wenn die Hülse erst nach einer gewissen Aufwärtsverschiebung um vielleicht einen Zentimeter einen festen Halt findet. Denn die dann noch verfügbare weitere Verkürzungsfähigkeit des Muskels ist dann um soviel geringer. Der Verschiebungsweg des Kunstarmes geht also für den Antrieb der Kunsthand verloren, und da die Verkürzung des Muskels auch bei langem Stumpf oft nur 1—2 cm beträgt, so wird die für den Antrieb der Kunsthand verfügbare Energie schon durch Verschiebungen der Hülse um wenige Millimeter merklich verringert. Bei Kunstarmen mit Stumpfmuskel-Antrieb ist also der Verhinderung von Längsverschiebungen besondere Sorgfalt zuzuwenden.

Die **Geradstützung** soll das „Wackeln" verhindern und muss zu dem Zweck auch geringe Schrägstellungen der Hülse zum Stumpf unmöglich machen. Diesem Zwecke dient vor allem die Massnahme, die Hülsen (wenn möglich auch gewalkte Hartlederhülsen) zum Schnallen oder Schnüren einzurichten. Damit die Hülse sich auch dem Stumpfende gut anpassen kann, empfiehlt es sich, sie unten offen zu lassen, was ausserdem für die Lüftung des Stumpfes von Vorteil ist. In vielen Fällen kann durch „Innenschnürung" nach Spitzy, Wien, ein festerer Sitz der Hülse erzielt werden, indem der Stumpf innerhalb der Hülse, am besten in einer Schnürfurche, von einem Riemen oder Band gefasst und nach vorn oder hinten an die Wand der Hülse fest angebunden wird, wobei der Riemen durch zwei Löcher nach aussen tritt[1]). Einige weitere Massnahmen zur Geradstützung werden beim Vorderarmstumpf und beim Oberarmstumpf noch besprochen.

Die **Drehstützung**, die eine Verdrehung der Hülse gegenüber dem Stumpfe verhindern soll, erfordert stets beim Vorderarm und beim Oberarm verschiedene Massnahmen, die jeweils dort besprochen sind.

---

[1]) Über die Ausbildung von Schnürfurchen siehe: Spitzy und Hartwich: „Orthopädische Behandlung Kriegsverwundeter", Urban u. Schwarzenberg, Berlin und Wien 1915, S. 151—153; ferner: Spitzy: „Zur Prothesenfrage", Münchener medizinische Wochenschrift 1915, S. 1397ff. Über den Innenriemen auch: Spitzy: „Behelfsprothesen", Deutsche medizinische Wochenschrift 1916, Nr. 24.

Vorderarmstumpf.

Die Befestigungsarten von Kunstarmen, welche bei Unterarmstümpfen zur Anwendung kommen, seien hier in vier Hauptgruppen zusammengefasst, die wir danach unterscheiden wollen, ob und in welcher Weise der Oberarm zur Befestigung herangezogen ist.

1. **Oberarmhülse.** Hierher rechnen wir alle Befestigungsarten, bei denen auch der Oberarm eine durch Schienen versteifte Hülse trägt. Die seitlich sitzenden Schienen sind meist mit denen der Vorderarmhülse am Ellbogen gelenkig verbunden, und sind den beiden Oberarmknorren (Epikondylen) genau angepasst, so dass sie daran sicheren Halt finden und ein Herabgleiten der Stumpfhülse auch bei gestrecktem Ellbogen sicher verhindern. Die Achsen

Fig. 1.

der beiden Gelenke müssen natürlich genau miteinander und mit der Achse des Ellengelenks zusammenfallen. Die Oberarmhülse ist stets zum Schnallen oder Schnüren eingerichtet. Eine Ausführung dieser Art zeigt Fig. 1[1a]).

Julius Dollinger (Budapest) versieht die Oberarmschienen an ihrer Auflagerstelle über den Oberarmknorren noch mit Stahlplatten, die nach dem Gipsmodell genau gehämmert sind, und verbindet diese durch einen hinten herumgeführten Bügel[2]). In Fällen, wo es Schwierigkeiten macht, an den

[1a]) Aus Spitzy und Hartwich: „Orthopädische Behandlung Kriegsverwundeter", 1915, S. 185, Fig. 128.

[2]) Julius Dollinger, „Suspension und Stützpunkte künstlicher Glieder", Deutsche Zeitschrift für Chirurgie, Bd. 128, 1914, S. 593; auch in Deutsche medizinische Wochenschrift, 41. Jahrg., 1915, Nr. 43, S. 1274.

Oberarmknorren genügend sicheren Halt zu finden, wird die Oberarmhülse auch wohl an der Schulter aufgehängt[3]), obgleich man im allgemeinen bestrebt ist, nicht ohne Zwang auch Schulter und Brust mit Traggurten zu beengen.

Fig. 2 zeigt eine neue Ausführung von J. Riedinger (Würzburg), bei welcher die beiden Oberarmschienen zu einer einzigen hinter dem Oberarm herum greifenden Schiene vereinigt sind. Dies hat erstens den Vorteil, dass die Oberarmhülse kürzer gehalten werden kann, so dass sie den Arm oben frei lässt, zweitens, dass die unteren Enden der Schiene infolge ihrer steifen Verbindung nicht an den Oberarmknorren auseinander klaffen können, auch wenn die Oberarmhülse nicht sehr fest zusammengeschnallt ist und drittens den Vorteil einer grösseren Widerstandsfähigkeit gegen Kräfte, welche die Stumpfhülse bei gebeugtem Arm zu verdrehen, also die beiden Scharniere aufwärts gegeneinander zu verschieben suchen. Unterhalb der Oberarmhülse ist noch ein kreuzweise geführter Riemen sichtbar, der wie bei der unter Gruppe 3 beschriebenen Riemenbindung ebenfalls ein Herabgleiten der Vorderarmhülse bei gestrecktem Arm verhindert, der aber von vielen Verletzten als ganz entbehrlich fortgelassen wird. Diese Befestigung wird von Riedinger in den Fällen angewandt, wo wegen sehr kurzen Stumpfes oder für schwere Arbeit die Neumannsche Bindung (siehe nächste Seite) nicht fest genug ist.

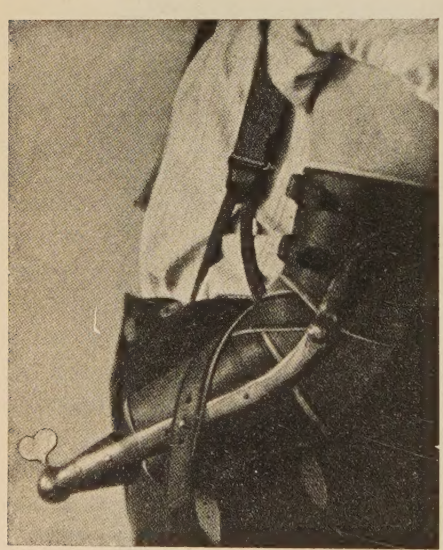

Fig. 2.

2. **Oberarmgürtel.** Den Oberarm umgibt ringförmig ein weicher Gürtel, d. h. eine nicht durch Schienen versteifte „Manschette", an dem die Vorderarmhülse durch einzelne Längsriemen aufgehängt ist. Fig. 3 zeigt eine Ausführung dieser Art[4]). Der Oberarmgürtel ist an der Vorderseite zum Schnallen eingerichtet und stützt sich unmittelbar auf die Oberarmknorren. Die Verbindung mit der Vorderarmhülse besteht aus vier einzeln schnallbaren Riemen, von denen die beiden hinteren bei gebeugtem Arm, die vorderen bei gestrecktem Arm das Abgleiten der Stumpfhülse verhindern, während jeweils die anderen lose sind. Auch hier ist als eine besondere Abart die Ausführung zu verzeichnen, bei der auch die Schulter zum Tragen mit benutzt wird, Fig. 4[5]), wobei dem

[3]) Siehe z. B. Sippel: „Wie verhelfen wir den Kriegsverstümmelten durch Ersatzglieder wieder zur Arbeitsfähigkeit und zum Eintritt in das bürgerliche Berufsleben?" 1916, S. 36/37. Dort ist auch eine Ellbogengelenkverbindung mit Kugelgelenken dargestellt, welche dem Ellbogen eine „erweiterte Beweglichkeit", offenbar die Handwendebewegung, ermöglicht.

[4]) Aus Biesalski: „Kriegskrüppelfürsorge, ein Aufklärungswort zum Troste und zur Mahnung", 1915, 1. bis 30. Tausend, S. 33, Fig. 70.

[5]) Aus J. Riedinger: „Über Kriegs-Krüppelfürsorge mit besonderer Berücksichtigung der Prothesenfrage", Archiv für Orthopädie, Mechanotherapie und Unfallchirurgie, 14. Bd., 1915, S. 143, Fig. 9.

Oberarmgürtel auch eine höhere, vom Ellbogen entferntere Lage gegeben werden kann. Die Aufhängung an der Schulter kann in sehr verschiedener Weise geschehen, wie unten im Abschnitt über den Oberarmstumpf noch ausführlich erläutert wird.

3. **Riemenbindung.** Der Oberarm ist nur umgeben von ein oder zwei Riemen, die unmittelbar an der Vorderarmhülse befestigt sind. Die erste derartige Riemenbindung wurde von dem Chemnitzer Kaufmann Neumann entwickelt, Fig. 5[6]), und enthält zwei schnallbare Riemen. Der obere Riemen greift vorne am oberen Rande der Vorderarmhülse an (die Bezeichnungen „vorne“ und „oben“ gelten für den senkrecht herabhängenden Vorderarm; so auch im folgenden) und umschlingt den Oberarm dicht oberhalb der Oberarmknorren, wobei er sich diesen von selbst gut anschmiegt,

Fig. 3.

Fig. 4.

ohne wie die Befestigungsarten der ersten Gruppe besondere Sorgfalt bei der Herstellung vorauszusetzen. Damit der Riemen von den Knorren nicht abgleiten kann, sondern zu beiden Seiten des Oberarms recht fest anliegt, sind die Riemenenden an der Hülse nahe zusammengeführt, vgl. S. 28, Fig. 21 rechts.

[6]) Aus Flemming: „Wie Kriegsbeschädigte und Unfallverletzte auch bei Verstümmelung ihr Los verbessern können“, 2. Aufl., Saarbrücken 1915 (Verlag der Sektion 1 der Knappschaftsberufsgenossenschaft), S. 48, rechtes Bild, wo auch zahlreiche weitere Abbildungen dieser Befestigung vorhanden sind. Nach Flemming wurde diese Befestigung zuerst veröffentlicht in Nr. 6 der Monatsschrift für die Steinbruchsberufsgenossenschaft vom 25. Juni 1910, herausgegeben von Dr. Eisenträger.

So gestattet dieser einfache Riemen ohne weiteres auch bei gestrecktem Arm das Tragen schwerer Lasten von z. B. 30—40 kg, und zwar ohne irgend welche Beschwerden, wie jeder an sich selbst durch eine einfache Riemenschlinge feststellen kann. Beim Arm-Beugen wird dieser Riemen lose; um auch bei gebeugtem Arm die Stumpfhülse unverschiebbar in ihrer Lage zu halten, ist bei der Neumannschen Bindung ein zweiter Riemen zu beiden Seiten des

Fig. 5.

Ellbogengelenks an den verlängerten Unterarmschienen befestigt und hinter dem Ellbogen herumgeführt, vgl. Abbildung; dieser untere Riemen wird beim Beugen, der obere beim Strecken des Armes gespannt. Nur der obere Riemen muss jedesmal beim Abnehmen des Kunstarms geöffnet werden, der untere bleibt in der Regel geschlossen.

Der untere Riemen kann in vielen Fällen fortgelassen werden. Nur wo es darauf ankommt, dass die Hülse bei gebeugtem Arm sich nicht der Länge

nach verschieben kann (Stumpfmuskelantrieb), wird man ihn nicht entbehren können. Bei manchen Ausführungen hat er auch den Vorteil, beim Tragen schwerer Dinge mit gebeugtem Arm ein Hochkippen des hinteren Hülsenrandes etwas zu verhindern (Geradstützung).

Der obere Riemen wird bisweilen in der Ellbogenbeuge gekreuzt. Das hat den Vorteil, durch festere seitliche Anlage des Riemens ein Abgleiten von

Fig. 6.

den Oberarmknorren noch sicherer zu verhindern, hat aber den Nachteil, bei weitgehender Armbeugung hinderlich zu sein. Bei Kreuzung des Riemens kann derselbe auch bis zu den seitlichen Unterarmschienen fortgeführt und an diesen drehbar befestigt sein, Fig. 6 [7]), jedoch lässt man abweichend vom Bild die Hülse zweckmässig nach oben über die Angriffspunkte des Riemens hinaufreichen, damit sie nicht zu tief hängt.

[7]) Aus Flemming (Fussnote 6), S. 56, 1. Bild.

Als weitere Unterart dieser Gruppe ist noch eine Ausführung zu nennen, bei welcher ebenfalls unter Fortlassung des unteren Riemens der obere um den Oberarm zweimal herumgeschlungen ist [8]).

Die Riemenbindungen haben sich in letzter Zeit eine vorherrschende Stellung erobert und vielfach die beiden vorher beschriebenen Befestigungsarten, besonders für nicht allzu schwere Arbeit verdrängt, denn sie vereinigen gute Tragfähigkeit mit bequemem Sitz und einfacherer Herstellung.

4. **Aufhängung am Stumpf selbst.** Eine vierte Gruppe bilden noch zwei seltener angewendete Befestigungen, bei denen die Hülse am Unterarm selbst den nötigen Halt auch gegen Herabgleiten findet, so dass der Oberarm zur Befestigung gar nicht benutzt wird. Hierhin gehört eine Ausführung von J. Dollinger für Absetzung im Handgelenk, Fig. 7 [9]), wobei die unteren (distalen) Enden der Vorderarmknochen, besonders der seitlich vorspringende Kopf der Speiche als Stützpunkte benutzt sind.

Fig. 7.

Ferner gehört hierher das Verfahren von Spitzy, die Hülse an einer künstlich erzeugten Schnürfurche des Stumpfes zu befestigen, Fig. 8 [10]). Auch diese Befestigungsart kann bei Unterarmstümpfen nur in seltenen Fällen und für kleinere Zugkräfte zur Anwendung kommen (vgl. im übrigen die diesbezüglichen Bemerkungen bei Oberarmstümpfen).

Die bisherige Besprechung der einzelnen Ausführungen bezog sich nur auf die Aufhängung des Kunstarms, d. h. auf die Verhinderung des Herabgleitens. Daher ist jetzt noch einiges hinzuzufügen über die beiden anderen Aufgaben der Befestigung: Geradstützung und Drehstützung.

Die **Geradstützung**, d. h. die Verhinderung einer Schrägstellung der Hülse zum Stumpf, ergibt sich bei langen Stümpfen von selbst durch die gut geführte Hülse. Trägt man z. B. mit dem wagerecht gehaltenen Stumpf am Handersatz einen schweren Gegenstand, so liegt das vordere Ende der Hülse

[8]) Abbildungen dieser Befestigungsart z. B. bei Flemming (Fussnote 6), 1. Aufl., S. 50, und an Gipshülsen bei Radike: „Behelfsprothesen für Armamputierte", Medizinische Klinik, 12. Jahrg., 1916, S. 565, Fig. 3.

[9]) Aus Julius Dollinger (Fussnote 2), S. 591, Fig. 13.

[10]) Aus Spitzy und Hartwich: (Fussn. 1), S. 179, Fig. 121; vgl. auch dort S. 151 ff.

oben auf dem Stumpfende und der hintere Hülsenrand drückt von unten gegen den Stumpf. (Bei dieser Betrachtung über die Geradstützung gelten die Ortsbezeichnungen, vorn, hinten, oben, unten usw. für den wagerecht nach vorn gehaltenen Stumpf.) Werden mit dem Handersatz Querkräfte nach der Seite ausgeübt, so findet entsprechend ein Anliegen der beiden Hülsenenden an den Seiten statt. Stets treten die grössten Pressungen an den Hülsenenden auf, während eine Zone in der Hülsenmitte den Stumpf entweder drucklos umgibt oder allseits gleichmässig einengt. Um den Stumpf nicht unnötig zu beengen, sollte man daher eine lange Hülse unbedenklich in zwei

Fig. 8.

nicht zu schmale Riemen auflösen, wie Fig. 9 an einem Jagenberg-Arm zeigt. Unter Umständen kann sogar der Sitz der Hülse dadurch noch verbessert werden. Wenn nämlich eine lange Hülse in der Mitte fester anliegt als an einem Ende, was z. B. durch Schrumpfung des Stumpfendes eintreten kann, so dass sie an diesem Ende etwas Luft hat, so würde sie bei Ausübung von Querkräften wackeln, und dies könnte bei ungeteilter Hülse auch nicht durch festeres Schnallen beseitigt werden. Bei der Auflösung der Hülse in zwei Riemen kann das durch Festschnallen des lockeren Riemens ohne weiteres vermieden werden. Bei kürzeren Hülsen, wo eine Teilung nicht möglich ist, kann man vielleicht mit gleichem Erfolg eine oder zwei weit ausgeschnittene Öffnungen in der Hülsenmitte anbringen.

Bei kurzem Stumpf hat das Zusammenrücken der beiden Hülsenenden — oder bei über das Stumpfende hinausragenden Hülsen das Zusammenrücken der äussersten Anlagestellen an Stumpfende und hinterem Hülsenende — zwei unerwünschte Folgen: erstens wird die bei langem Stumpf noch unmerkliche Schrägstellung zwischen Hülse und Stumpf, die durch das Nachgeben der Weichteile nie ganz vermeidlich ist, bei kurzem Stumpfe störend gross: die Hülse wackelt. Und zweitens wird beim Heben schwerer Dinge mit gebeugtem Arm die Pressung der vorderen Hülsenwandung gegen das Stumpfende oder die des hinteren Hülsenrandes lästig und begrenzt die Leistungsfähigkeit des Kunstarmes. Bei Ausübung seitlicher Kräfte mit dem Handersatz gilt dasselbe in seitlicher Richtung. Man kann aber beide Nachteile bedeutend ver-

Fig. 9.

mindern, also die Leistungsfähigkeit beträchtlich erhöhen, wenn man die Stumpfhülse hinten verlängert, so dass sie unter dem Ellbogen einen Halt gegen Hochkippen findet, denn dadurch werden die beiden Stützpunkte an den Hülsenenden möglichst voneinander entfernt. Die Verlängerung darf allerdings nicht so weit gehen, dass sie bei gebeugtem Arm hinten vorsteht, weil das ohne Nutzen das Geradestrecken des Armes hindern kann; sondern das hintere Ende der Hülse soll sich gegen den unter der Gelenkwalze liegenden Teil der Elle (Ellenfortsatz) stützen und hinten mit diesem zugleich aufhören. Ebenso muss man vermeiden, den oberen Rand der Hülse zu fest in die Ellbogenbeuge hineinzupressen, weil das zwecklos und beim Arm-Beugen hinderlich sein würde. Damit nun die Hülsenverlängerung am Ellenfortsatz sich nicht nach unten abbiegen kann, hängt man sie zu beiden Seiten an den

beiden Schienen auf und lässt die verschiedenen Längen an der Ober- und Unterseite der Hülse durch entsprechende Abschrägung der Seiten allmählich ineinander übergehen [11]). Das hat zugleich den Vorteil, dass die Hülse nun auch bei seitlichen Querkräften den gewünschten Halt gegen seitliche Schrägstellung findet. Die Oberarmknorren werden mit Rücksicht auf die Beugebewegung entweder ganz frei gelassen oder von der Hülse nur seitlich glatt anliegend, nicht eng umschliessend berührt.

Solche oder ähnliche Massnahmen gegen Schrägstellung können im allgemeinen bei allen Befestigungsarten zur Anwendung kommen und werden auch wohl bei langen Stümpfen noch vorteilhaft sein, wo ein Bedürfnis dazu bisher weniger fühlbar war.

Bei der **Drehstützung,** d. h. bei der Verhinderung von Verdrehungen der Hülse um den Stumpf, ist zu unterscheiden, ob die Handwendebewegung (Unterarmdrehung, Pro- und Supination) dem Stumpf erhalten geblieben ist oder nicht.

Wenn die Handwendung möglich ist, muss man diese Bewegung jedenfalls auf den Kunstarm übertragen. Sie ist nicht etwa durch die entsprechende Schulterbewegung überflüssig, denn die Bewegungen im Schultergelenk können nicht gleichzeitig die Beugung des Handgelenkes und die Drehung des Unterarms ersetzen; ohne letztere kann z. B. ein Löffel nur mit gewisser Schrägneigung zum Munde geführt werden. Aber auch abgesehen von bestimmten Anwendungen ist es wohl selbstverständlich, dem Verletzten die Stumpfbewegungen, über welche er noch verfügt, wenn möglich auch nutzbar zu machen. Da wir nun die sich drehende Speiche nahe dem Ellbogen nicht wirksam fassen können, müssen wir ihre nach dem Stumpfende hin zunehmende Schwenkbewegung um die Elle ausnutzen. Die Drehstützung der Hülse muss daher stets nahe dem Stumpfende geschehen, indem wir sie der von Elle und Speiche gebildeten Abflachung gut anpassen. Bei Absetzung im Handgelenk ist zu beachten, dass der Ellenkopf die Drehung der Hülse nicht mitmacht, also nicht zu fest umfasst werden darf.

Ausserdem muss die Befestigung der Hülse am Oberarm deren Drehung mit dem Stumpf gestatten, was nicht bei jeder Befestigungsart ohne weiteres möglich ist. Zu dem Zweck kann die Stumpfhülse in zwei getrennte, gegeneinander drehbare Teile aufgelöst werden, von denen der vordere die Stumpfdrehung mitmacht, während der hintere Teil ohne Rücksicht auf die Stumpfdrehung am Oberarm befestigt werden kann. Die drehbare Verbindung beider Teile geschieht bisweilen durch zwei den Stumpf umgebende, gegeneinander drehbare Ringe. Einfacher und schmiegsamer ist jedoch die Verbindung durch einfache Riemen, wie Fig. 10 [12]) an einer neuen Ausführung der Deutschen Rotawerke (Aachen) zeigt. Wie daraus ersichtlich, nehmen allerdings die

---

[11]) Eine in dieser Beziehung richtig gebildete Hülse siehe z. B. bei Flemming in der oben (Fussnote 8) schon erwähnten Abbildung.

[12]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Felix Meyer (Deutsche Rotawerke, Aachen); ebenso die Figuren 19, 20, 24, 25.

Verbindungsriemen der beiden Hülsenteile bei der Stumpfdrehung eine schräge Richtung an und erschweren dadurch die weitere Drehung, wenigstens wenn die Riemen gespannt sind. Dieser Nachteil lässt sich aber mit der Schrägstellung selbst verringern, indem man die Befestigungsstellen der Riemen von den einander zugekehrten Hülsenrändern zurückversetzt, so dass die Riemen entsprechend länger werden. — Die hier wegen der Stumpfdrehung vorgenommene Zweiteilung der Hülse unterscheidet sich von der oben unter Geradstützung beschriebenen Zweiteilung dadurch, dass hier die den Handersatz tragenden Schienen nur an dem vorderen Teil befestigt sind. Dieser vordere Teil muss daher für sich allein auch die nötige Geradstützung gewähren, und ist überhaupt die eigentliche Stumpfhülse, während der hintere als Teil der Aufhängung betrachtet werden kann. — Bei Aufhängung an einer Oberarmhülse können die beiden Tragriemen direkt an den Oberarmschienen neben dem Ellbogen drehbar befestigt sein, so dass sie vorteilhaft lang ausfallen und die hintere Stumpfhülse ganz unnötig wird. Noch vollkommener wird die Stumpfdrehung ermöglicht bei einer Ausführung von Professor von Baeyer, z. Z. Reservelazarett Ettlingen, Fig. 28, S. 35, bei welcher die Oberarmschienen neben dem Ellbogen je eine kleine Rolle tragen, während die Tragriemen ⊱-förmig über die Rollen laufen und mit beiden Enden in gewissem Abstand von einander an der Stumpfhülse angreifen, so dass bei der Stumpfdrehung der eine Schenkel sich so viel verlängern kann, wie der andere sich verkürzt.

Fig. 10.

Eine dritte Art, die Hülse drehbar gegen Herabgleiten zu befestigen, entsteht durch Anordnung eines Zapfengelenkes vor dem Stumpfende: Zur Aufhängung dient eine Oberarmhülse; von den Ellbogenscharnieren gehen zwei Schienen aus, welche mit der Stumpfhülse selbst nicht verbunden sind, da sie deren Drehung nicht mitmachen, und welche vor dem Stumpf ein z. B. rohrförmiges Lager tragen; ein darin drehbarer aber nicht längs verschiebbarer Zapfen verbindet den Handersatz starr mit der Stumpfhülse, und diese selbst kann als kurzer, nur das Stumpfende umgebender Ring ausgebildet sein. Diese Bauart ist für kleine Kräfte, also für Schmuckhände wohl geeignet, für grössere Kräfte und Arbeitsarme aber wenig widerstandsfähig, weil die beiden Schienen nicht direkt am Stumpfende selbst gegen Querverschiebungen geführt sind, und die Geradstützung daher sehr schwach ist. Eine Ausführung mit beweglicher Holzhand zeigt Fig. 10 a [13]), linke Bildseite.

Kann der Stumpf die Unterarmdrehung (Handwendung) nicht ausführen, so ist die Drehstützung der Hülse auf dem Stumpf zwar weniger wichtig,

[13]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Professor Dr. Spitzy, Wien.

aber doch nicht ganz überflüssig, weil bei Ausübung gewisser Kräfte mit dem Handersatz die Hülse sich zu verdrehen sucht. Die Verhinderung dieser Drehung braucht aber in diesem Falle nicht am Stumpfende an Elle und Speiche zu geschehen, sondern kann auch durch die Oberarmbefestigung erreicht werden, am wirksamsten wohl durch die Oberarmhülse mit Scharniergelenken und einer einzigen, um den Arm herumgreifenden Schiene nach Fig. 2.

Oberarmstumpf von mindestens $^1/_3$ der Oberarmlänge.

In diesem Abschnitt setzen wir einen Stumpf von solcher Länge voraus, dass er dem Kunstarm bei geeigneter Befestigung noch mit Sicherheit eine gewünschte Richtung zu geben vermag, so dass die nötige Befestigung an der Schulter noch als frei bewegliche Schulterbefestigung ausgebildet werden kann, welche die Beweglichkeit des Stumpfes möglichst wenig behindern soll. Als äusserste Grenze für diese Möglichkeit kann etwa eine Mindestlänge des Stumpfes von $^1/_3$ der Oberarmlänge angenommen werden, von der Mitte des natürlichen Schultergelenks aus gemessen.

Fig. 10 a.

Um die verschiedenen Befestigungsarten richtig beurteilen zu können, soll hier zunächst gezeigt werden, dass bei Oberarmstümpfen neben der Aufhängung auch der Geradstützung und der Drehstützung der Hülse eine grössere Bedeutung zukommt als beim Vorderarmstumpf.

Eine besondere **Geradstützung** ist bei kurzen und mittellangen Stümpfen unentbehrlich, weil schon das blosse Seitwärtsheben des Kunstarms in manchen Fällen sonst unmöglich ist. Beim Seitwärtsheben sucht nämlich der obere Hülsenrand sich von der Schulter zu entfernen, wie Fig. 11 schematisch darstellt, und dabei können kurze Stümpfe aus der Hülse vollständig herausgleiten, besonders wenn die Hülse nicht bis dicht unter die Achsel reicht. Aber wenn auch bei mittellangem, z. B. 15 cm langem Stumpf, der innere, dem Rumpfe zugekehrte Hülsenrand am Stumpf schliesslich Halt findet und dieser nicht ganz herausrutscht, so ist doch erstens die grosse Schrägstellung des Stumpfes in der Hülse, also die mangelhafte Führung des Kunstarms an sich schon lästig und das Arbeiten erschwerend, und

ausserdem kann eine nennenswerte Kraftwirkung mit dem Arbeitsansatz nach der Seite doch nicht ausgeübt, in manchen Fällen auch der Arm nicht seitwärts erhoben werden, weil das zu grosse, schmerzhafte Pressungen am Stumpf voraussetzen würde.

Diese grossen Pressungen sind eine notwendige Folge davon, dass der unter der Achsel liegende Hülsenrand bei kurzem Stumpf nur wenig oberhalb des Stumpfendes liegt, selbst wenn er bis dicht unter die Achsel reicht. Denn dadurch haben die beiden Kräfte B und C, Fig. 11, die allein das Aufrichten des Kunstarms bewirken, einen unvorteilhaft kleinen Hebelarm oder Abstand, z. B. bei einem 15 cm langen Stumpf nur etwa 5 cm, so dass die Kräfte selbst sehr gross sein müssen. Dazu kommt, dass durch die eingetretene Schrägstellung die Hülse gerade gegen das äusserste, mitunter empfindliche Stumpfende drückt, und ihm in dieser Stellung nicht mehr genau angepasst ist. Durch die unvermeidlich niedrige Lage des unter der Achsel liegenden Hülsenrandes sind also die Verhältnisse hier viel ungünstiger als beim Unterarmstumpf, wo die entsprechende, beim Beugen nach unten gelangende Hülsenseite noch unter dem Ellbogen selbst Halt finden kann.

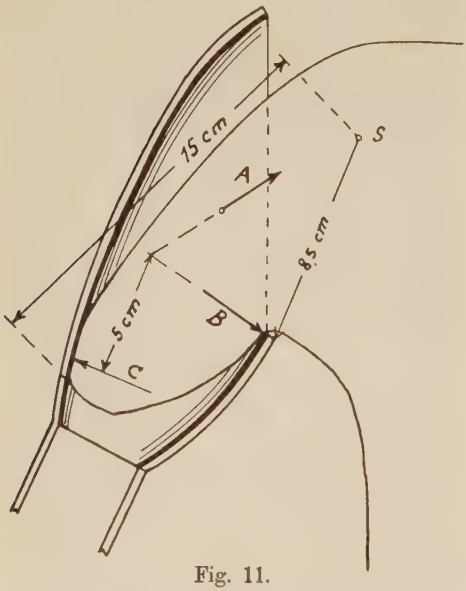

Fig. 11.

S = Kugelmitte des Schultergelenks,
A = Richtung des Aufhängegurts,
B u. C = Druckkräfte zwischen Stumpf u. Hülse.

Infolge dieser Verhältnisse konnte z. B. ein Verletzter mit 15 cm langem, allerdings am Ende empfindlichen Stumpf seinen Kunstarm, der nur mittels eines Pauwelschen Schultergurts befestigt war, kaum um 30° vom Rumpf seitwärts abheben. Als ich bei einem zweiten Versuch den oberen Hülsenrand einfach mit der Hand gegen die Schulter drückte, gelang die Armhebung ohne weiteres bis etwa 120°, also noch über die Wagerechte hinaus. Die Geradstützung der Hülse ist daher neben der Aufhängung des Armes eine wichtige Aufgabe der Schulterbefestigung bei kurzem und mittellangem Stumpf.

Auch beim Vorwärtsheben des Stumpfes tritt leicht eine Schrägstellung der Hülse ein, wobei der obere Hülsenrand sich von hinten gegen den Oberarm legt. Ebenso legt er sich vorn an, wenn mit dem Arbeitsansatz ein Druck nach unten oder hinten rechtwinklig zum Arm ausgeübt wird. Da nun die Schulter hier nicht im Wege ist, kann man diese Schrägstellung der Hülse und die entstehenden Pressungen leicht vermindern, indem man die Hülse wie beim Unterarmstumpf vorn und hinten bis neben das Schultergelenk hinaufführt und an dem Oberarm gut anliegen lässt. Bei den Befestigungsarten

mit starrem Schultergelenk wird auch die Geradstützung in dieser Richtung von der Schulterbefestigung mit übernommen.

Bei sehr langen Stümpfen kann von besonderen Massnahmen zur Geradstützung wohl ohne Nachteil abgesehen werden; auch kommt dann wieder wie beim Vorderarmstumpf die Auflösung der Hülse in zwei schnallbare Riemen in Frage.

Die **Drehstützung,** die beim Oberarmstumpf noch wichtiger ist als beim Unterarm, macht hier viel grössere Schwierigkeiten, weil der runde Oberarmknochen gegen Verdrehungen keinerlei Halt bietet, und daher die Hülse mit den Weichteilen des Stumpfes zusammen um den Knochen drehbar ist. Nur bei Absetzung im Ellbogen kann man die Hülse an dem breiten Ellbogenkopf des Oberarmknochens gegen Drehung fest verankern; ohne die Oberarmknorren gelingt es nicht. Dadurch entstehen nun zwei unerwünschte Folgen:

Erstens ist es unmöglich, den Arbeitsansatz oder den künstlichen Unterarm in eine gewünschte, beliebige Richtung zu drehen. Der Verletzte vermag zwar wie jeder Gesunde seinen Oberarmknochen um dessen Längsachse zu drehen, da diese Drehbarkeit sowohl wie die betreffenden Antriebsmuskeln in der Schulter liegen und als unversehrt vorausgesetzt werden können, aber der Kunstarm dreht sich nicht mit. Um nun dem Arbeitsansatz wenigstens einstellbar (passiv) eine gewünschte Richtung geben zu können, hat man vielfach am Ellbogen ein besonderes feststellbares Gelenk für die Drehung um die Oberarmachse angeordnet oder Armbeugung und -drehung in einem Kugelgelenk vereinigt, obgleich der natürliche Ellbogen nur als einfaches Scharniergelenk wirkt.

Dadurch ist aber die Drehstützung nicht überflüssig geworden, denn bei Ausübung gewisser Kräfte gibt die Hülse durch Drehung um den Oberarm nach, und dies ist ein zweiter Nachteil der fehlenden Drehstützung. Dadurch hat der Verletzte den Kunstarm nicht ganz in der Gewalt; ausserdem kann bei stärkerer Verdrehung ein schmerzhaftes Zerren von mit dem Knochen verwachsener Haut eintreten. Nur in Fällen, wo die Hülse bei der Verdrehung gegen ein Schulterkumt (siehe unten) oder andere Befestigungsteile stösst, fallen diese Nachteile fort. — Diese Nachgiebigkeit der Hülse kann nun dadurch vermieden werden, dass die Hülse mit der Schulter durch Gurte oder durch starre Gelenke verbunden wird, welche die Schwenkung des Arms nach vorn und seitwärts nicht behindern, jede Drehung um die Oberarm-Längsachse aber unmöglich machen und dadurch die auf den Kunstarm wirkenden Drehmomente (= Drehkräfte) nach der Schulter übertragen. Während das natürliche Schultergelenk als Kugelgelenk Drehungen um drei aufeinander senkrechte Achsen gestattet (seitwärtsheben, vorwärtsheben und Oberarm drehen), schaltet man also diejenige Drehbarkeit, welche man am Ellbogen vielfach hinzufügt, an der Schulterbefestigung aus, so dass dort nur eine Beweglichkeit um zwei Achsen übrig bleibt. In dieser Weise sind verschiedene Schulterbefestigungen ausgeführt worden, auf die unten noch näher eingegangen wird; merkwürdigerweise ist die dadurch erreichte Wirkung aber noch nie zur Begründung eines derartigen Schultergelenks angeführt worden.

Diese Art der Drehstützung kann aber eigentlich nicht als befriedigend bezeichnet werden. Denn erstens lässt sie die willkürliche Drehbarkeit des Stumpfes um ca. 150° (!) dem Kunstarm nicht zugute kommen, sondern beseitigt sogar den letzten Rest davon, den die Hülse sonst vielleicht noch gehabt hätte. Zweitens sind die starren Schultergelenke unbequem und in der Herstellung umständlich, und drittens haben die Drehstützungen an der Schulter den Nachteil, dass der nach bestimmter Richtung wagerecht erhobene Stumpf nicht mehr ohne weiteres zu der Schwenkbewegung in wagerechter Ebene, wie beim Baumumfassen, imstande ist, also in seiner allseitigen Beweglichkeit etwas behindert wird, während zugleich die Drehstützung für diese besondere Stumpfstellung hinfällig wird. Es gilt dies von jener Stellung des Stumpfes, bei welcher er durch das Hochschwenken gerade in die Richtung der unbeweglichen Drehachse des künstlichen Schultergelenks gelangt, das ist beim Siemens-Schuckert-Arm, Fig. 18, die seitwärts erhobene Stellung, beim Arm des Marinelazaretts Veddel (Hamburg), vgl. unten S. 25, die nach vorn zeigende Richtung. Diese Behinderung allein hat allerdings praktisch keine grosse Bedeutung, weil man den Stumpf auf einem kleinen Umweg auch von dieser Sonderstellung in jede andere Richtung zu bringen vermag. Die genannten drei Nachteile zusammen kommen aber doch in Betracht und sind vielleicht der Grund, warum bisher vielfach von einer Drehstützung ganz abgesehen wird.

Eine einwandfreie, allen Ansprüchen genügende Drehstützung, bei der auch die willkürliche Stumpfdrehung dem Kunstarm zugute kommt, kann also nur durch drehungssichere Befestigung der Hülse am Stumpf selbst gesucht werden und macht eine chirurgische Vorbereitung des Stumpfes nötig, durch welche die kreisrunde Form des Knochens in eine breite und flache Form übergeführt wird, so dass er bei jeder Drehung die Hülse mitnimmt. Vorschläge dieser Art sind nicht neu. Man kann z. B. ein längliches Knochenstück durch eine Querbohrung des Stumpfes stecken[14]), so dass es mit den beiden Enden nach vorn und hinten oder seitlich um je 2—3 cm vorsteht und nach der Anheilung einen starren Bestandteil des Stumpfknochens bildet. Oder man lagert dem Knochenende ein Querstück vor, das mit ihm verwachsen soll, wie Fig. 12 an einem Präparate zeigt, welches Herr Geheimrat Enderlen, Würzburg, auf meine Anregung freundlichst anfertigte. Diese beiden Verfahren setzen allerdings zur Gewinnung des Querstücks verfügbares Material oder eine freie Überpflanzung voraus. Ohne beides kommt man zum Ziel durch Spaltung des Knochens oder durch seitliche Abspaltung einer Knochenspange; so wurde von Elgart, Brünn, folgender Vorschlag gemacht und ausgeführt[15]): „Man amputiert zuerst mittels Zirkularschnittes und nachdem nicht nur die Hautmanschette, sondern auch die Muskulatur etwa 2 cm

[14]) Vorgeschlagen von Wilms, Deutsche medizinische Wochenschrift 1915, 2, S. 1270/71; dort auch Vorschläge der Spaltung und Abspaltung.

[15]) Elgart, Amputatio humeri osteoplastica . . ., Archiv für klinische Chirurgie Bd. 88, 1908, S. 249. Dort auch die Röntgenaufnahme einer ausgeführten symmetrischen Knochenspaltung.

hoch hinaufgeschoben, was jedoch ohne Periostablösung zu geschehen hat, wird auf die Amputationsfläche des Knochens die Säge senkrecht gestellt und daselbst zwei 2—3 cm tiefe, parallele Einsehnitte ausgeführt. Die beiden schmalen zwischen den Einschnitten gelegenen Knochenteile werden nun mit der Zange gefasst und divergierend herausgebrochen, unter vorsichtiger Erhaltung ihres periostalen (ev. muskuloperiostalen) Zusammenhanges; diese Knochenstücke werden quer (wie zwei Pseudokondylen) durch Übernähen der Muskulatur fixiert und sollen in dieser queren Stellung an den Humerusschaft anheilen. Man könnte schliesslich dieses Vorgehen auch durch Transplantation eines Knochenstückes unterstützen, das man in die nach dem Knochenlappen resultierende Knochenrinne legen könnte.“ Elgart will allerdings die Stumpfdrehung zum Schliessen und Öffnen einer Kunsthand verwenden und zu dem Zweck einen Kunstarm benutzen, der die Stumpfdrehung als solche nicht mitmachen kann. Da man aber das Schliessen der Kunsthand und sogar noch zwei weitere Antriebe zum Bewegen derselben ebenso gut vom Heben und Vorbewegen der beiden Schultern hernehmen kann, scheint es zweckmässiger, die Stumpfdrehung für ihre natürliche Aufgabe: Drehung des Oberarms zu verwenden. — Wenn der Kunstarm durch eines dieser Operationsverfahren drehungssicher am Stumpf befestigt wird, ist natürlich eine weitere Drehstützung an der Schulter fortzulassen und ein etwaiges Ellbogengelenk als einfaches Scharniergelenk auszubilden. Ausserdem können die so gebildeten Vorsprünge des Stumpfknochens zur Längsstützung der Hülse gegen das Abwärtsgleiten benutzt werden, so dass eine Schulterbefestigung überhaupt ganz überflüssig wird, und das ist ein weiterer Vorteil des Verfahrens, der es vielleicht allein schon rechtfertigen würde[16]). Diese Ausführungen sollen dazu anregen, dass das Verfahren praktisch erprobt wird, und wenn es sich bewährt, schon bei der Amputation zur allgemeinen Anwendung kommt, also nicht mehr dem Entschluss zu einer Nachoperation überlassen bleibt.

Fig. 12.

[16]) Nur mit diesem Zweck begründet z. B. Wilms seine in Fussnote 14 erwähnten Vorschläge.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen wollen wir nun sehen, wie weit die verschiedenen zurzeit bekannten Befestigungsarten den aufgestellten Anforderungen entsprechen oder sich ihnen anpassen lassen. Dabei können wir die vielen vorhandenen Befestigungsarten in vier Hauptgruppen zusammenfassen, die sich (entsprechend wie beim Vorderarmstumpf) dadurch unterscheiden, ob und in welcher Weise die Schulter zur Befestigung herangezogen ist, und die wir bezeichnen wollen als Befestigung mittels Schulterkappe, Schulterkumt, Schultergurt und Aufhängung am Stumpf selbst.

1. **Schulterkappe.** Die Befestigung mit Schulterkappe ist die älteste Befestigungsart und zugleich die primitivste, insofern sie am wenigsten die Berücksichtigung einzelner Kräfte und Bewegungen erkennen lässt, sondern eine Form hat, wie man sie ohne alle Erfahrungen und eingehende Über-

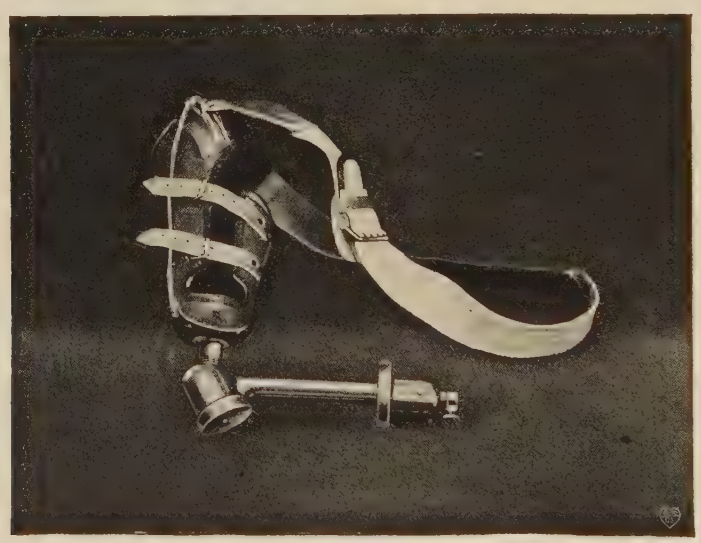

Fig. 13.

legungen wählen würde. Ihr eigentümlicher Bestandteil ist eine wohl stets aus Leder hergestellte Kappe, welche die Schulter umfasst und durch einen unter dem gesunden Arm hindurchgeführten Brustgurt in ihrer Lage festgehalten wird. Bei genügender Grösse und unmittelbarer Verbindung der Kappe mit der Stumpfhülse lässt sich diese Befestigung leicht so ausführen, dass sie ausser der Aufhängung auch die Geradstützung und Drehstützung in gewissem Grade übernimmt. Dann wird aber die Verbindung so steif, dass sie auch die nötigen Schwenkbewegungen des Stumpfes nach jeder Richtung ganz unzulässig behindert. Um die Beweglichkeit des Stumpfes zu verbessern, ist bei manchen Bauarten die Kappe aus einem besonderen Stück hergestellt und mit der Hülse durch Schnürung verbunden. Hierher gehört z. B. die frühere Befestigung des Jagenbergarmes, Fig. 13, die auch für Arbeitsarme grössere Anwendung gefunden hat. Auch bei durch Schnürung beweglich angesetzter Hülse erscheint aber die Befestigung mit Schulterkappe im Vergleich

zu den unten besprochenen anderen Befestigungsarten als diejenige, welche die Beweglichkeit des Stumpfes am meisten behindert, und ist daher, wenigstens für Arbeitsarme, jetzt wohl allgemein verlassen worden. Um die Steifheit der Schulterkappe zu vermeiden und doch dem Kunstarm den gewünschten Halt zu geben, muss man die Hülse mit Rücksicht auf die gewünschten Bewegungen und Stützungen in einzelnen, zielbewusst ausgewählten Punkten verankern, wie bei den folgenden Befestigungsarten beschrieben, also auf die Ursprünglichkeit und geringe Gliederung der Schulterkappe verzichten. Die früher grosse Verbreitung der Schulterkappe erklärt sich dadurch, dass die anderen Befestigungen erst in neuerer Zeit gefunden wurden, und dass auch das Bedürfnis dazu erst mit der Entwicklung der Arbeitsarme stärker hervortrat.

Ähnliche Nachteile hat die Anwendung einer ganzen Jacke, an welcher die Oberarmhülse angenäht ist, wodurch ausserdem der ganze Oberkörper eingeengt und belästigt wird. Diese Befestigungsart ist daher für gewöhnliche Fälle nur vereinzelt benützt worden. Sie hat aber den für beidseitig Armamputierte sehr wichtigen Vorteil, sich leicht anziehen und zuschnüren zu lassen und kommt für diese daher auch bei Unterarmstümpfen zur Anwendung. Das Anziehen geschieht nach Aufhängung der Jacke an zwei passend in eine Wand geschlagenen Haken und kann sogar von einseitig Exartikulierten und andererseits Vorderarmamputierten noch selbständig besorgt werden [17]).

Fig. 14.

2. Schulterkumt. Eine sehr sichere Befestigung des Kunstarms wird ermöglicht, wenn man nach Professor Dr. J. Riedinger, Würzburg, zu seiner Verankerung ein ledernes Schulterkumt anordnet, welches, durch Stahlschienen versteift, das ganze Schultergelenk umgibt und durch einen unter dem gesunden Arm hindurchgeführten Brustgurt in seiner Lage gehalten wird, Fig. 14 und 15. Ein solches in sich starres und der Schulter gut angepasstes Kumt findet durch seine grosse Ausdehnung einen sehr sicheren Halt an Schulter und Brustkorb und bietet für die Verbindung der Stumpfhülse mit dem Kumt verschiedene Möglichkeiten, sowohl mittels Lederriemen wie mittels starrer Gelenke.

Am einfachsten ist die Verbindung mit einem kurzen Aufhängeriemen, welcher an der äusseren Oberarmschiene drehbar angreift und am

[17]) Nach Spitzy und Feldscharek, „Die Versorgung beidseitig Armamputierter". Münchener medizinische Wochenschrift 1916, Nr. 33, S. 1181 ff.

Kumt entweder fest angenietet ist, Fig. 14[18]), oder dort ebenfalls drehbar angreift mit Rücksicht auf die beim Vorwärtsheben des Armes eintretende Rückwärtsbewegung des oberen Hülsenrandes[19]). Dieser Aufhängeriemen ist jedoch bei manchen Ausführungen durch den Druck auf die Schulter lästig, auch neigt er infolge der starken Querbiegungen bei den Stumpfbewegungen zu baldiger Zerstörung.

Diese Nachteile vermeidet das Ösengelenk von Riedinger nach Fig. 15[20]). Das Gelenk besteht aus zwei ineinandergreifenden Stahlösen,

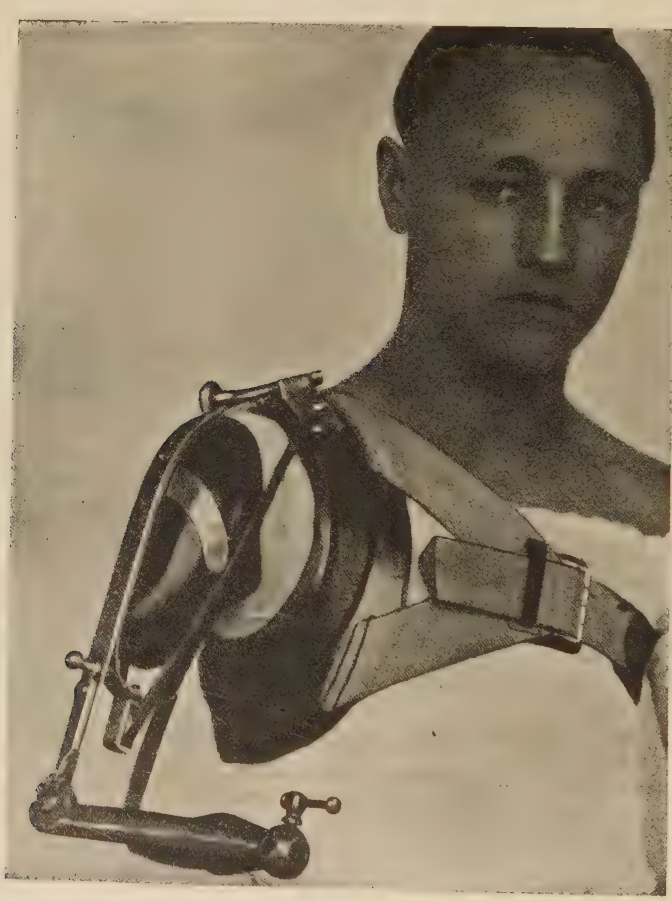

Fig. 15.
Arbeitsarm für kurze Oberarmstümpfe.

[18]) Aus Natzler: „Künstliche Arbeits- oder Luxusglieder?", Archiv für Orthopädie, Mechanotherapie und Unfallchirurgie, 14. Bd., 2. Heft, 1915, Tafel 8, Fig. 4. Weitere Abbildungen bei J. Riedinger, derselbe Bd., S. 158—160 (vgl. Fussnote 5); die dortigen Abbildungen S. 156 und 157, bei denen die Verbindung zwischen Kumt und Hülse aus drei Riemen besteht, betreffen einen so kurzen Stumpf, dass auf seitliches Heben verzichtet wird, und gehören daher nicht in den gegenwärtigen Abschnitt dieser Arbeit.

[19]) So die Abbildung bei Flemming, a. a. O. (Fussnote 6), 2. Aufl., S. 87, rechts unten.

[20]) Aus J. Riedinger: „Weiteres über Arbeitsarme", Archiv für Orthopädie, Mechanotherapie und Unfallchirurgie 1916, S. 295, Fig. 8.

welche ohne weiteres das Seitwärtsheben und die Drehung um die senkrechte Achse gestatten, also bei erhobenem Arm das wagerechte Schwenken, bei gesenktem Arm die Oberarmdrehung. Für das Vorwärtsheben des Armes ist die obere Öse am Kumt nicht fest, sondern drehbar gelagert. Dadurch sind demnach Drehungen um drei aufeinander senkrechte Achsen, also durch gleichzeitige Wirkung überhaupt Drehungen um jede beliebige Achse möglich. — Beim Seitwärtsheben würde nun aber der Stumpf aus der Hülse etwas herausgleiten, weil deren Drehgelenk um mehrere Zentimeter über dem natürlichen Schultergelenk liegt. Um das zu verhindern, wird die Hülse durch einen besonderen, unter dem Hülsenende über eine Rolle geführten Riemen beim Seitwärtsheben gegen die Schulter gezogen, wobei die obere Stahlöse in ihr am Kumt sitzendes Lager hineingleitet. Diese Hilfseinrichtung ist also durch die exzentrische Lage des künstlichen Schultergelenks gegenüber dem natürlichen begründet. — Durch die starre Gelenkverbindung zwischen Hülse und Kumt wird deren oberes Ende zugleich an Verschiebungen nach jeder Richtung verhindert, also ausser der Aufhängung zugleich eine Längsstützung gegen aufwärts gerichtete Druckkräfte sowie eine wirksame Geradstützung der Hülse erreicht, die nur wegen der möglichen Verdrehungen der Hülse noch nicht ganz zur Geltung kommt.

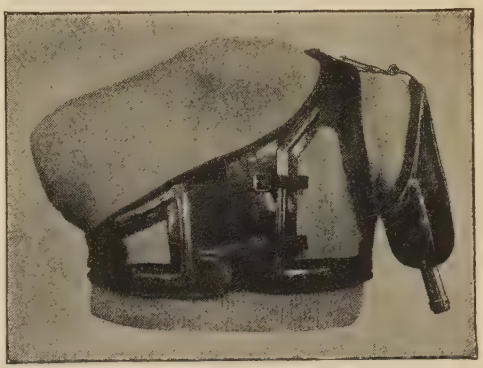

Fig. 16.
Vorderansicht des Stützmieders.

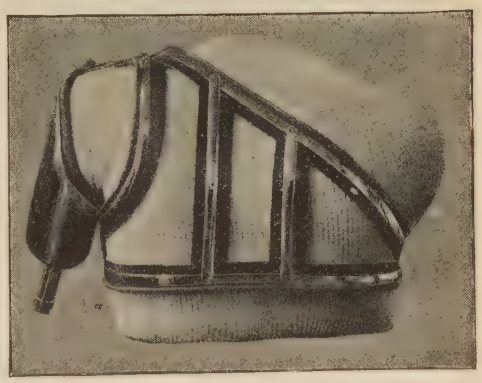

Fig. 17.
Rückenansicht des Stützmieders.

Ein noch festerer Sitz der Schulterbefestigung wird erreicht, wenn nicht nur die Schulter, sondern der ganze Nacken von starren Teilen umfasst wird, wie bei dem Stützmieder von Béla Dollinger, Budapest, Fig. 16 und 17[21]). Diese Befestigungsart wurde von ihrem Schöpfer entwickelt, weil „selbst die findigst erdachten" Schulterbefestigungen mit Riemen oder Gurten „bei jeder Bewegung des Oberarmstumpfes den Brustkorb reiben, was Schmerzen und Abschürfungen verursacht". Nach der angeführten Quelle bildet das Mieder kein Hindernis für die Atembewegung, muss aber unbedingt nach einem genauen Gipsmodell des Brustkorbs hergestellt werden. Es hat

[21]) Aus Béla Dollinger (Budapest): „Ein neues Suspensionsteil für Oberarmprothesen", Deutsche medizinische Wochenschrift 1916, S. 321, Fig. 1 und 2.

zwar für lange Oberarmstümpfe meines Wissens bisher keine Nachahmung gefunden, kommt aber für Exartikulierte und kurze Stümpfe mehr in Betracht. Für die Verbindung der Stumpfhülse bietet das Mieder dieselben Möglichkeiten wie das Schulterkumt.

Zweiachsige Schultergelenke. Die folgenden Schulterbefestigungen haben starre Schultergelenke mit nur zwei Drehachsen, nämlich für das Vorwärtsheben und das Seitwärtsheben des Stumpfes. Diese Befestigungen gehören zur Gruppe mit Schulterkumt, weil auch bei ihnen ein die Schulter umgebender starrer Teil (Kumt) vorhanden ist, der die Bewegungen des Stumpfes nicht mitmacht und an Schulter und Brustkorb die erwähnte sichere Anlage findet. Auf die Schultergelenke selbst muss hier eingegangen werden, weil sie zur Befestigung der Stumpfhülse gehören und auch für die Beweglichkeit des mit dem Kunstarm versehenen Stumpfes von Einfluss sind.

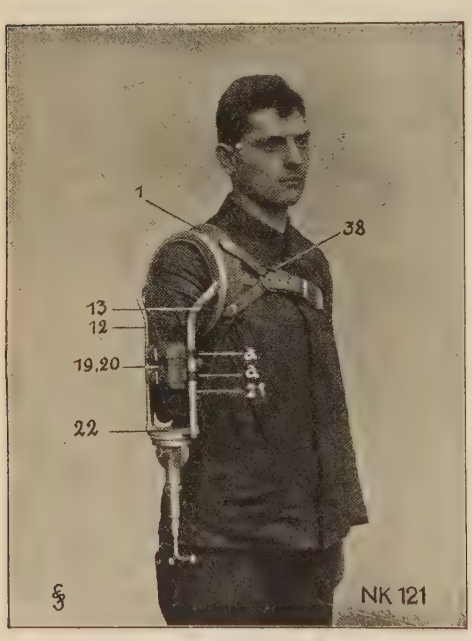

Fig. 18.

Die zweiachsigen Schultergelenke haben den Vorteil, dem herabhängenden Arm eine gute Drehstützung zu geben, und damit den letzten Rest unerwünschter Beweglichkeit, d. h. Wackeln des Kunstarms, zu beseitigen, so dass nun auch die schon beim Ösengelenk vorhandene Geradstützung erst voll zur Geltung kommt. Zur vollständigen Beherrschung des Kunstarms genügt es hier daher, ihm nur am Stumpfende eine Querstützung zur Führung zu geben, so dass der Stumpf selbst hier nur noch die Aufgabe des Richtunggebens hat (Siemens-Schuckert-Arm). Der geringe Nachteil, für eine gewisse wagerechte Stumpfstellung die wagerechte Schwenkbewegung zu verhindern, wurde bereits oben bei Betrachtung der Drehstützung erwähnt. Bei den bekannten Ausführungen mit zweiachsigem Schultergelenk ist wohl stets darauf Bedacht genommen, dass die Drehachsen der beiden Gelenke für das Vorwärtsheben und das Seitwärtsheben des Armes ungefähr durch die Mitte des natürlichen Schultergelenks gehen. Das hat den Vorteil, dass beim Armheben die Hülse weder sich auf dem Stumpfe abwärts schiebt, noch ihm gegenüber eine Schrägstellung annimmt, verlangt aber eine etwas umständlichere Bauart und gelingt doch nicht ganz vollkommen. Das Seitwärtsheben des Armes verlangt dann stets zwei getrennte, vor und hinter der Schulter liegende Scharniergelenke mit gemeinsamer Achsenrichtung.

Das Vorwärtsheben des Armes wird wohl am besten durch ein die ganze Schulter umgebendes Ringgelenk ermöglicht, dessen innerer Ring unmittelbar

am Kumt befestigt ist, während der äussere die beiden Scharniere für das Seitwärtsheben trägt. Eine technisch vorzügliche Ausführung dieser Bauart ist der Arbeitsarm der Siemens-Schuckertwerke, Fig. 18[22]), bei dem das Ringgelenk zur Erzielung möglichst leichten Ganges als Kugellager ausgebildet ist. Dieser Arm zeichnet sich ausserdem durch die überaus freie Lage von Schulter und Stumpf vorteilhaft aus, sowie dadurch, dass die kurze, nur das Ende des Stumpfes umgebende Hülse (Armstulpe 20) auf den beiden Armschienen 12, 13 auf- und abgleiten kann. Dies ist nötig, weil ein genaues Zusammenfallen der Gelenkachsen mit dem natürlichen Schultergelenk auch bei dieser Bauart nicht ganz erreichbar ist, und daher beim Bewegen des Stumpfes Längsverschiebungen desselben gegenüber den Armschienen eintreten. Ein Abrutschen der nur lose angeschnallten Armstulpe wird durch die kleine Spiralfeder 21 verhindert. Mit Rücksicht auf weitgehende Beweglichkeit des Stumpfes lässt sich das Ringlager nicht so klein ausbilden, dass es unter dem Rockärmel verborgen werden kann; der Arbeitsarm ist daher nur für die Werkstatt zum Tragen über der Arbeitskleidung bestimmt.

Ein kinematisch ähnliches Schultergelenk, das wegen bedeutend kleineren Ringlagers auch unter der Kleidung sich verbergen lässt, ist das unten S. 35 abgebildete Schultergelenk von Biesalski (Fig. 27); dieses ist aber für Exartikulation im Schultergelenk bestimmt und wegen der geringeren Beweglichkeit für Verletzte mit Stumpf weniger geeignet.

Eine andere Möglichkeit für das Schultergelenk besteht darin, dass die Scharniere für das Seitwärtsheben unmittelbar am Kumt selbst sitzen, und einen Bügel tragen, der aussen neben dem Schultergelenk das Gelenk für das Vorwärtsheben enthält. So ist z. B. vom Marinelazarett Veddel (Hamburg) ein Arm ausgebildet, wobei der Bügel um den Stumpf herumgreifend die drei Gelenke miteinander verbindet. Auch hierbei lassen sich beide Gelenkachsen nahezu durch das natürliche Schultergelenk legen, jedoch ist der Bügel einem weitgehenden Vorwärtsheben des Stumpfes hinderlich. Ein höheres Vorwärtsheben wird erreichbar sein, wenn der Bügel zur Verbindung zwischen dem vorderen und dem seitlichen Gelenk nicht aussen und vorn um den Stumpf herum, sondern unter die Achsel durch und hinter dem Stumpf herum zum seitlichen (und zum hinteren) Gelenk geführt ist.

3. Schultergurt. Als Befestigung mit Schultergurt seien diejenigen Schulterbefestigungen bezeichnet, bei denen im Gegensatz zu den bisher besprochenen die Aufhängung des Kunstarmes nur durch einen oder mehrere Gurte geschieht. Die im folgenden beschriebenen Anordnungen dieser Art seien nach ihrer Bauart als „Kreuzgurt", „Nackengurt" und „Rollgurt" unterschieden. Sie zeichnen sich aus durch Einfachheit, bequemen Sitz, gute Lüftung der Schulter und unbeschränkte Beweglichkeit des Stumpfes.

Schon die erste Anordnung dieser Art hat daher bald grössere Verbreitung gefunden. Es ist der **Kreuzgurt**, der im vorigen Jahre von Dr. Pauwels,

[22]) Aus der Schrift der Herstellerin: „Mitteilungen über den Arbeitsarm der Siemens-Schuckertwerke, Nürnberger Werk, für kriegsbeschädigte Handwerker und Arbeiter", (1916), S. I, 8, Fig. 1.

Aachen, für den Rota-Arm angegeben wurde und aus Fig. 19 und 20[23]) ersichtlich ist. Der Traggurt greift an der Vorderseite der Stumpfhülse drehbar an, geht über die Schulter nach hinten, über den Nacken und unter dem gesunden Arm hindurch zu einer am anderen Gurtteil befestigten Schnalle. Dies andere Gurtstück greift ebenso an der Hinterseite der Hülse drehbar an, geht auf der Schulter über den erst erwähnten Gurt hinweg nach vorn über die Brust und trägt dort die erwähnte Schnalle. Ein kleiner Hilfsgurt oder Riemen verbindet hinter der Schulter die beiden sich kreuzenden Stränge und verhindert ein Abrutschen des hinten beginnenden Teils. Beim Seitwärtsheben des Armes dreht sich die Hülse um die beiden Angriffspunkte des Gurtes, deren Verbindungslinie genau durch das natürliche Schultergelenk gelegt

Fig. 19.

Fig. 20.

werden kann. Beim Vorwärtsheben schwenkt die Stumpfhülse um den hinteren Aufhängepunkt, wobei der vorn entspringende Gurtanfang lose wird, aber über der Schulter durch den fest aufliegenden anderen Gurtteil gegen Verschiebungen festgehalten wird.

Ähnlich in der Wirkung ist die **Nackengurt**-Aufhängung nach Fig. 20 a[24]), die den Vorteil hat, die Brust ganz frei zu lassen; der Gurt ist nur über den Nacken geführt, greift mit einer Schlinge um die gesunde Schulter und gabelt sich bei der abgebildeten Ausführung nach der Stumpfschulter zu in zwei Äste, die an der Hülse festgeschnallt sind.

[23]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Felix Meyer (Deutsche Rotawerke), Aachen.

[24]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Professor Dr. Hans Spitzy, Wien, weitere Abbildungen mit dieser Aufhängung in dessen erwähntem Buch (Fussnote 1).

Beide Anordnungen lassen nach ihrem ganzen Aufbau deutlich erkennen, dass sie nur das Abwärtsgleiten der Hülse vom Stumpf verhindern, ihr aber im übrigen volle Beweglichkeit lassen sollen. Eine Geradstützung in der Richtung nach vorn und hinten kann zwar von der Hülse selbst erreicht werden, wenn nach Fig. 19 und 20 die an der Aussenseite des Stumpfes verlaufende Schiene oben sich gabelt und neben dem Schultergelenk nach vorn und hinten um den Stumpf herumgreift, wobei die beiden Enden zugleich zur Befestigung des Traggurts dienen können. Eine Geradstützung in seitlicher Richtung wird aber durch diese Befestigung nicht bewirkt, ebensowenig eine Drehstützung. Die Anordnung ist daher in dieser Form nur für lange Stümpfe geeignet.

Es liegt nahe, die seitliche Geradstützung durch einen zweiten Gurt zu erreichen, welcher an der Vorder- und Hinterseite der Oberarmhülse in der Höhe des natürlichen Schultergelenks drehbar angreift und auf Brust und Rücken sich mit dem Pauwelschen Traggurt vereinigt, so dass Schnalle und Achselstück dieses Gurtes beiden Zwecken gemeinsam dient; dadurch würde zugleich auch die Drehstützung gegen Verdrehungen der Hülse auf dem Stumpf erreicht. Die oben S. 18 erwähnte Behinderung jeder Drehstützung an der Schulter äussert sich dann aber darin, dass das wagerechte Vorschwenken des seitwärts erhobenen Armes (wie beim Baum-Umfassen) durch den hinten hinzugefügten Gurt behindert wird.

Fig. 20 a.
„Wienerarm" als Tischlerarm.

Diesen Nachteil vermeidet die vom Flora-Lazarett in Düsseldorf angewendete **Rollgurt**-Anordnung nach Fig. 21 und 22[25]), indem sie zum Pauwelschen Kreuzgurt nur die seitliche Geradstützung, nicht aber die Drehstützung hinzufügt. Beim Vorwärtsheben ist die Wirkung ähnlich wie beim Kreuzgurt; beim Seitwärtsheben kann jedoch auch bei nur mittellangem Stumpf ein Abheben des oberen Hülsenrandes nicht eintreten, und beim Vorschwenken des seitwärts erhobenen Armes, sowie beim Vorbewegen der Stumpfschulter kann sich der hintere Angriffspunkt der Hülse vom Verzweigungspunkt des Gurtes entfernen, indem der schmale Gurt durch die Walze läuft, während vorne auf der Brust gleichzeitig eine entsprechende Verkürzung des unteren Gurtteiles eintritt. Da der Gurtrand beim Lauf über die Walze seitlich anläuft und reibt, ist die Anwendung einer flachen Rolle vorzuziehen, deren Achse auf den beiden Gurtrichtungen senkrecht steht, wobei der Gurt durch einen runden Riemen ersetzt wird[26]). Betreffend die Geradstützung für das Vorwärtsheben kann auch hier wie auf Fig. 19 und 20 die äussere

[25]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Ferd. Emil Jagenberg, Düsseldorf.

[26]) So bei Radike, a. a. O. (Fussnote 8), Abb. 1 und 2.

Hülsenschiene gegabelt und nach vorn und hinten um den Stumpf herumgeführt sein.

Um das Herausgleiten des Stumpfes aus der Hülse beim Armheben zu verhindern, kann ein genügend langer Stumpf auch mit einer weichen Stumpfmanschette versehen werden, wie bei der im folgenden beschriebenen Aufhängung am Stumpf selbst mittels Schnürfurche[27]).

4. **Aufhängung am Stumpf selbst.** In einigen Fällen ist die Aufhängung der Hülse am Oberarmstumpf selbst möglich, und zwar kommen dafür entsprechend wie beim Vorderarmstumpf zwei Verfahren in Betracht:

Bei Absetzung des Vorderarmes im Ellbogengelenk können die **Oberarmknorren** zur Stützung der Hülse gegen das Herabgleiten benutzt werden und

Fig. 21.

Fig. 22.

verhindern dann zugleich eine Verdrehung gegenüber dem Stumpf; es ist dies der einzige Fall, wo ohne Knochenplastik auch die willkürliche Oberarmdrehung dem Kunstarm zugute kommt. Fig. 22a zeigt eine Ausführung dieser Art[28]). Für die Geradstützung sind wegen der Länge des Stumpfes keine besonderen Massnahmen nötig. Der Umstand, dass eine ähnliche Befestigung bei fehlenden Oberarmknorren durch eine Knochenplastik ermöglicht wird, wurde bereits bei Besprechung der Drehstützung (S. 19) erwähnt.

Die andere Möglichkeit besteht darin, nach Spitzy, Wien, eine künstliche **Schnürfurche** des Stumpfes zur Aufhängung der Hülse zu benutzen. Auch dieses Verfahren setzt im allgemeinen lange gut geformte Stümpfe voraus

[27]) So im Reservelazarett Görden bei Brandenburg a. H. nach Radike, a. a. O.

[28]) Aus Biesalski: „Kriegskrüppelfürsorge", 121.—140. Tausend, Leipzig 1916, S. 34, Fig. 64.

und genügt als einzige Aufhängung nur für leichtere Arbeiten. Eine Ausführung dieser Art zeigt Fig. 23 an einem Wiener Arm als Setzerarm [29]). Als Ort für die Schnürfurche eignet sich am Oberarm nur die natürliche Verjüngung oberhalb des Armbeugers und unterhalb des Deltamuskels, also am Ansatz des letzteren; bei kürzeren Stümpfen ist die Anlegung einer Schnürfurche unmöglich. Zur Erzeugung der Schnürfurche streicht man am ersten Tage „die Stelle mit Klebestoff an, nimmt eine 15 cm breite Binde und wickelt sie so fest an, als der Patient es verträgt. Die Wicklung wird 2—3-

Fig. 22a.

mal täglich revidiert, wenn nötig nachgezogen, und die Patienten lernen sehr bald sich die Binde selbst anlegen. In acht Tagen muss die Schnürfurche zustande gekommen sein . . . .“ [30]). Zur Aufhängung der Hülse wird zweckmässig ein „Innenriemen“ verwendet, d. h. ein Riemen, der zum grössten Teil innerhalb der Hülse um den Stumpf herumgeführt ist und, durch zwei benach-

[29]) Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn k. u. k. Oberstabsarzt Professor Dr. Spitzy, Kommandant des k. u. k. Reservespitals Nr. XI, Wien. Einen weiteren Fall mit dieser Befestigung siehe bei Flemming, a. a. O. (Fussnote 6), 2. Aufl., S. 95 (4 Abb.).

[30]) Spitzy und Hartwich: „Orthopädische Behandlung Kriegsverwundeter“, Urban u. Schwarzenberg, Berlin und Wien, 1915, S. 152.

barte Löcher der Hülse tretend, nur über das kurze zwischen diesen liegende Bogenstück aussen läuft, um die Hülse zu tragen und festgespannt zu werden.

Absetzung im Schultergelenk und sehr kurzer Oberarmstumpf (momentenfeste Schulterbefestigungen).

Wo der Arm im Schultergelenk abgenommen werden musste, fällt die Möglichkeit, den Kunstarm willkürlich mit dem Stumpf zu bewegen, fort. Damit verringert sich die Brauchbarkeit eines Kunstarmes gegenüber den Fällen mit mittellangem Oberarmstumpf so sehr, dass zahlreiche Einarmer auf einen Kunstarm ganz verzichten. Andererseits bietet er aber für viele Arbeiten doch noch eine Hilfe und wird der Gebrauch eines Kunstarmes von manchen doch für begründet gehalten. Im folgenden werden daher einige Gesichtspunkte auch für diese Fälle entwickelt. Leider führen dieselben zu dem Ergebnis, dass hier vielfach umständlichere Befestigungen nötig sind als im vorigen Abschnitt. — Hiernach ist es begreiflich, dass nur wenige Ausführungen vorhanden sind, die hier als Vorbild dienen können. Vor deren Besprechung muss auch hier die Aufgabe der Befestigung genauer betrachtet werden, da sie in manchen Punkten von den Fällen mit längerem Stumpf vollständig abweicht:

Fig. 23.
„Wienerarm" als Setzerarm.

Befestigt man den Kunstarm auch bei fehlendem Stumpf frei beweglich an der Schulter, so ist eine Kraftausübung nur möglich in einer durch das künstliche Schultergelenk bzw. die Schulterverbindung des Armes gehenden Richtung, da ja der bewegliche Kunstarm den Arbeitsansatz nur in bestimmtem Abstand von der Schulter hält, allen Drehkräften aber ohne Widerstand durch Schwenkbewegungen ausweichen kann. Diese Beweglichkeit ist erwünscht, wenn die andere Hand die Bewegung besorgt und beherrscht, also bei der Handhabung aller Geräte, die mit beiden Händen gefasst werden, wie Sense, Schaufel, Hacke, Besen, Schubkarre, Hobel und Feile, und die hier gemeinsam als Zwei-Hand-Geräte bezeichnet seien. (Es sind das durchweg Arbeiten, bei denen aus demselben Grunde auch die Verbindung des Arbeitsansatzes mit dem Gerät nicht starr, sondern frei beweglich sein soll, und als Ring, Kugelansatz oder Riemenbindung ausgeführt werden kann.) Das Arbeiten mit diesen Geräten wird im allgemeinem um so besser gehen, je leichter beweglich die Schulterbefestigung des Kunstarmes ist, so dass man jede unnötige Reibung und Steifigkeit an der Schulter möglichst vermeiden sollte.

Für fast alle anderen Arbeiten ist dagegen eine solche Verbindung zwischen Kunstarm und Schulter nötig, dass der Handersatz unbeweglich feststeht und Kräfte beliebiger Richtung ausüben und aufnehmen kann, also eine Verbindung, die auch Momente (d. h. Richtung gebende Kräfte) zu übertragen vermag und daher hier als „momentenfeste" Verbindung bezeichnet sei, im Gegensatz zur frei beweglichen oder „momentenfreien" Schulterverbindung. So verlangen alle Fälle, in denen man irgend einen Gegenstand, z. B. einen Meissel, mit dem Kunstarm allein halten will, dass die Schulterbefestigung den Kunstarm unbeweglich in der gewünschten Richtung hält. Einige Arbeiten verlangen zudem eine so grosse Festigkeit dieser Schulterverbindung, dass die meisten bisher bekannten Bauarten dabei vollständig versagen. An Werkzeugmaschinen kommt es z. B. häufig vor, dass man mit dem Kunstarm eine Kurbel zu drehen hat, während die gesunde Hand anderweitig in Anspruch genommen ist. Mit einem an der Schulter frei beweglichen Kunstarm ohne Armstumpf ist das Drehen einer Kurbel nicht möglich, weil die beiden Totpunkte durch Zug- und Druckkräfte in Richtung des Kunstarmes nicht überwunden werden können, und auch eine Bewegung der Schulter aus der Richtung der bisherigen Totpunktslage heraus nicht weit genug möglich ist. Dasselbe gilt, wenn die Verbindung des Kunstarmes mit der Schulter zwar nicht frei beweglich, aber zu schwach ist, denn auch dann können grössere Kräfte nur als Zug oder Druck in Richtung des Kunstarmes übertragen werden, aber nicht senkrecht dazu. In beiden Fällen bleibt dem Verletzten daher nur die Möglichkeit, die Kurbel mit einem Schaltwerk zu versehen, wie es zum Schlitten-Vorschub bei Hobelmaschinen gebräuchlich ist. Ist aber der Kunstarm mit der Schulter genügend starr und fest verbunden, so kann der Verletzte durch entsprechende Bewegungen des Oberkörpers und der Schulter Kräfte nach allen Richtungen ausüben und auch eine Kurbel vollständig herumdrehen, ohne dass ein Totpunkt besteht. Dieser Umstand ist also ein Grund, bei allen Neukonstruktionen die Festigkeitsfrage mehr als bisher zu berücksichtigen und mit grösseren, quer zum Arm am Arbeitsansatz wirkenden Kräften zu rechnen.

Auch für Verletzte mit nur kurzem Oberarmstumpf sind diese Betrachtungen gültig, sobald dieser Stumpf so kurz ist, dass er auch bei bester Geradstützung der Hülse nicht imstande ist, den Kunstarm gegen grössere Kräfte zu bewegen oder in gewünschter Richtung fest zu halten. So sah ich z. B. einen Dreher mit kurzem Oberarmstumpf, der den unbelasteten Kunstarm noch gut bewegen konnte, aber nicht imstande war, die Schlittenkurbel seiner Drehbank während der Arbeit herumzudrehen. Auch bei vorhandenem kurzen Stumpfe können also grosse Kräfte nur in Richtung der Verbindungslinie von Handersatz und Stumpf ausgeübt werden, aber nicht senkrecht dazu. Zwar hat der Oberarmknochen im allgemeinen noch seine normale Beweglichkeit und die Fähigkeit, dieselben Momente (d. h. Richtung gebenden Kräfte) auszuüben wie ein gesunder Arm, wenn die Schultermuskeln gesund sind, aber die Hülse findet an dem kurzen Stumpf nicht den nötigen Halt, um diese Momente übertragen zu können. Um die Brauchbarkeit des Kunstarmes

möglichst zu steigern, muss man daher die Momente unabhängig vom Stumpf vom Kunstarm nach der Schulter übertragen, wie eben für Exartikulierte beschrieben. Die Vorteile des erhaltenen Armstumpfes, nämlich seine willkürliche Beweglichkeit, gehen dem Verletzten durch die momentenfeste Schulterverbindung des Kunstarmes nicht verloren, wenn die Verbindung mit dem Schulterteil keine dauernd starre ist, sondern ein fest und los stellbares Gelenk enthält. Bei kleinen Kräften und beim Gebrauch von Zwei-Hand-Geräten wird der Verletzte dann das Gelenk lose lassen und geniesst die willkürliche Beweglichkeit und das Muskelgefühl des Stumpfes; muss er aber Kräfte ausüben, für welche die Führung des Kunstarmes am Stumpfe nicht genügt, so stellt er das Schultergelenk bei der gewünschten Richtung des Oberarmes fest und hat nun den Vorteil einer starren Verbindung, die auch bei grossen Momenten nicht nachgibt, allerdings unter Einbusse der willkürlichen Beweglichkeit. Dieser Gedanke, bei sehr kurzem Stumpf den Kunstarm nach Belieben feststellen oder mit dem Stumpf bewegen zu können, wurde neuerdings auch von den Deutschen Rotawerken gefasst und zur Ausführung gebracht, Fig. 24[31]). Die Ausführung benutzt die Bewegungen des Stumpfes allerdings nicht für ihre natürlichen Aufgaben, was bei Verwendung der gesunden Schulter zum Antrieb des Greifers erreichbar wäre, ist aber doch als erste Ausführung des erwähnten Gedankens von Interesse, und auch wegen der vorzüglich durchgebildeten leichten Zerlegbarkeit und Abnehmbarkeit des Armes beachtenswert.

Fig. 24.

Bandage mit zwei Ansatzstellen, Momentverschluss und Vorrichtung für aktive Bewegung bei ganz kurzem schmerzhaftem Stumpf.

Die eigentliche Befestigung des Kunstarmes an der Schulter muss in beiden Fällen, also bei Exartikulation und bei kurzem Stumpf, viel höheren Ansprüchen genügen als die für lange und mittellange Stümpfe benutzten Schulterbefestigungen, die den Kunstarm stets nur frei beweglich tragen. Für Schmuckarme genügt zwar auch eine Schulterkappe und für leichte Arbeiten wird wohl ein grosses Schulterkumt genügen oder die ähnlich festsitzende Schulterbefestigung der Deutschen Rotawerke für Exartikulierte, nach Fig. 25[32]). Für manche Berufe mit schwerer Arbeit, z. B. für das Arbeiten an Werkzeugmaschinen, können aber noch wirksamere, stärkere Befestigungen nötig werden. In solchen Fällen ist dann das Stützmieder von Béla Dollinger an seinem Platze (S. 23, Fig. 16 u. 17), denn durch Stahlschienen, die über den ganzen Nacken und die obere Hälfte des Rückens bis zur gesunden Schulter herumgreifen, kann man die auftretenden recht grossen Momente am besten vom

[31]) Vgl. Fussnote 12, S. 13.

[32]) Vgl. Fussnote 12, S. 13.

Kunstarm auf den Brustkorb übertragen. Es ist daher kein Zufall, sondern durchaus begründet, dass auch die Deutschen Rotawerke nach Fig. 24 ein Mieder verwenden. Für die ausreichende Lüftung ist natürlich die Anbringung weniger grosser Öffnungen bzw. die Bildung des Mieders aus einzelnen den Versteifungsschienen entsprechenden Streifen nach Dollinger, Fig. 16 u. 17, vorzuziehen.

Die Beweglichkeit der Schulterblätter sollte durch die Befestigung so wenig wie möglich behindert werden, schon weil deren unbewegliche Festlegung für den Träger als lästiger Zwang empfunden würde und mit der Zeit vielleicht zu dauernden Bewegungsbeschränkungen führen könnte. Bei selbsttätig bewegbaren Kunstarmen sind ja die Schulterbewegungen ausserdem als

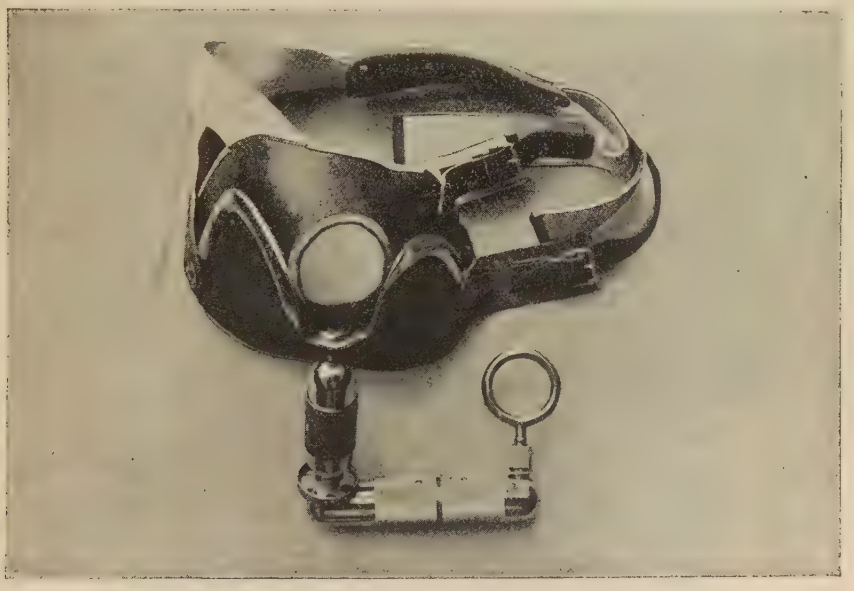

Fig. 25.

vorteilhafte Kraftquelle für den Antrieb erwünscht. Die Schulterbeweglichkeit scheint auch beim Mieder leicht erreichbar, wenn wie auf Fig. 16 und 17 die äusseren Teile der Schultern frei gelassen werden. — Ausser nach der Schulterbeweglichkeit ist auch danach zu streben, dass der Kunstarm die Bewegungen der armlosen Schulter möglichst mitmacht, damit er dadurch eine gewisse willkürliche Beweglichkeit gegenüber dem Oberkörper auch bei Exartikulation erhält. Zu diesem Zweck verwendet Georg Haertel in Berlin N 24 eine hartlederne Schulterkappe, die dem Schulterblatt und dem äusseren Teil des Schlüsselbeins genau angepasst ist und eine die Schulterblattgräte aufnehmende versteifte Vertiefung besitzt, so dass alle Bewegungen des Schulterblatts möglichst genau mitgemacht werden. — Für grössere Kräfte müsste versucht werden, eine Übertragung der Schulterbewegungen durch das Mieder zu erreichen. Die Befestigung des Mieders an der armlosen Schulter muss dann möglichst aussen nahe dem Schultergelenk liegen, weil dort die Bewegungen

des Schulterblatts am grössten sind, und muss nur alle Verschiebungen zwischen ihm und dem Mieder verhindern, Richtungsabweichungen zwischen beiden aber gestatten, da ja die Richtung des Mieders durch dessen übrige Befestigung an der anderen Schulter und am Rumpfe bestimmt ist. Bei dieser Befestigungsart werden die Schwenkbewegungen des Mieders und des mit ihm verbundenen Kunstarms zwar geringer sein als die des Schulterblatts, die übertragbare Kraft aber desto grösser. Die Vorwärtsbewegung jeder Schulter setzt voraus, dass das Mieder in tiefem Bogen unter dem Nacken herumgreift, so dass beim Zurückbewegen der Schulter kein Buckel entsteht. Die Befestigung des Mieders an der gesunden Schulter muss seitliche Verschiebungen

Fig. 26.

gestatten, da ja das Vorwärtsbewegen der armlosen Schulter mit Auswärtsbewegung verbunden ist (und genau genommen in einer Drehung um eine vorn am Schlüsselbein liegende senkrechte Achse besteht).

Für die momentenfeste Verbindung zwischen Mieder (bzw. Schulterkumt oder -kappe) und Kunstarm kommen grundsätzlich vier Arten in Frage: Die vollkommen starre Verbindung, das schwergehende Gelenk, das feststellbare Gelenk, und das aktiv bewegliche Gelenk. Die ganz starre Verbindung wird ihrer Einfachheit wegen für kurze Oberarmstümpfe vielfach angewandt; aber sie gestattet weder die Einstellung des Kunstarms in eine gewünschte Richtung noch die für das Arbeiten mit Zwei-Hand-Geräten nötige Beweglichkeit und schädigt Stumpf und Schulter durch die unbewegliche Einengung. Die vielfach benutzten Schulterkappen ohne Schultergelenk sind daher durchaus nicht vollkommen

und sollten eigentlich nur bei reinen Schmuckarmen für Exartikulierte verwendet werden, nicht aber bei Arbeitsarmen, und auch nicht an Schmuckarmen für Leute mit Stumpf. — Aus den beiden letzten Gründen scheidet auch das z. B. bei Holzhänden verwendete schwergehende Gelenk aus. Ferner scheidet das aktiv bewegliche Schultergelenk aus, weil zurzeit noch keine brauchbare Bauart bekannt ist, und weil auch, wenn erst die wichtigere Einrichtung der aktiven Hand und des aktiven Ellbogengelenks zur Anwendung kommt, für das Schultergelenk wohl kein geeignetes Antriebsglied als Kraftquelle mehr verfügbar ist. Als vollkommenste Schulterverbindung von Arbeitsarmen kann daher nur das bei beliebigen Armstellungen fest und los stellbare Schultergelenk empfohlen werden. Dazu sind grundsätzlich alle Schultergelenke für lange und mittellange Oberarmstümpfe brauchbar, wenn man eine genügend kräftige Feststellvorrichtung hinzufügt; die ausgeführten Bauarten sind aber unabhängig davon entstanden.

Fig. 27.

Fig. 26 zeigt ein feststellbares zweiachsiges Schultergelenk von Herrn Prof. Ing. v. Karlovitz, Budapest, in Verbindung mit einem Stützmieder nach Dollinger. Das Gelenk entspricht kinematisch dem des Siemens-Schuckert-Armes, denn es enthält wie jenes einen sagittalen, drehbaren Ring für das Vorwärtsheben, der die Gelenke für das Seitwärtsheben trägt. Das Ringgelenk wird durch Gewinde gebildet; beide Gelenke sind durch je eine Exzenter-Klemmvorrichtung mit kleiner Bedienungskurbel feststellbar. — Das Schultergelenk von Biesalski für Exartikulierte, Fig. 27 [33]), ist kinematisch ähnlich und wegen seiner Kleinheit für Schmuckarme besser geeignet, aber wesentlich schwächer und nur von geringerer Beweglichkeit. — Ein drittes Schultergelenk für Exartikulierte ist das Kugelgelenk der Deutschen Rotawerke nach Fig. 25, S. 33, welches ausser den beiden

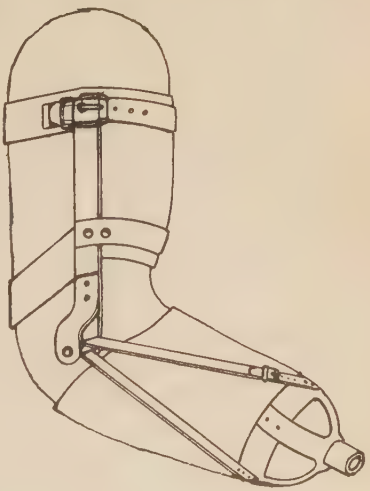

Fig. 28.
Befestigung für drehbaren Vorderarmstumpf. (Zu S. 14).

[33]) Aus Biesalski, a. a. O. (Fussnote 4), 121.—140. Tausend, S. 38, Fig. 72.

Schwenkbewegungen der zweiachsigen Gelenke auch noch die Drehung um die Oberarm-Längsachse gestattet.

Die Drehbarkeit um die Oberarm-Längsachse kann im Schultergelenk oder am Ellbogen oder zwischen beiden erreicht werden, denn für die Einstellbarkeit und Beweglichkeit des Handersatzes ist es gleichgültig, ob der Oberarm sich bei der Sichelbewegung mitdreht oder nicht. Bei vorhandenem Armstumpf wird sich wohl wie bei langen Stümpfen die Drehbarkeit am Ellbogen empfehlen, um an der Schulter, wo der Raum durch den Stumpf beengt ist, mit einem zweiachsigen Gelenk auszukommen. Bei Exartikulierten fällt dieser Grund weg und man erreicht bei Verwendung eines dreiachsigen Kugelgelenks an der Schulter den Vorteil, am Ellbogen mit einem einfachen Scharniergelenk auszukommen.

Lebenslauf.

Ich wurde geboren am 2. März 1882 zu Eppendorf, Hamburg, als Sohn des verstorbenen Kaufmanns Robert Biel und besuchte das Reform-Real-Gymnasium zu Güstrow in Mecklenburg. Nach Ablegung der Reifeprüfung widmete ich mich 1901 dem Studium des Maschinenbaus an der Kgl. Technischen Hochschule zu Charlottenburg und bestand 1903 die Diplom-Vorprüfung. Während der folgenden Studienjahre bekleidete ich die Stelle eines Honorar-Assistenten im physikalischen Institut, ferner in den Übungen zur technischen Mechanik und in konstruktiven Fächern für Chemiker. Daneben erteilte ich Privatstunden in den meisten für die Vorprüfung des Maschinenbaufaches wichtigen Fächern. Im Jahre 1906/07 übernahm ich ausserdem im Auftrage von Herrn Dr. Ubbelohde, jetzt Professor an der Grossh. Technischen Hochschule in Karlsruhe, verschiedene Arbeiten, nämlich die Berechnung von dessen „Tabellen zum Englerschen Viskosimeter", ferner einen Beitrag zum „Handbuch der Chemie und Technologie der Öle und Fette" und eine Arbeit betreffend die Theorie der Schmierung in Traglagern, welche bisher noch nicht veröffentlicht ist.

Im April 1908 ging ich zur Grossh. Technischen Hochschule in Karlsruhe über und bestand im Mai 1909 die Diplom-Prüfung bei der Abteilung für Maschinenwesen. Die erforderliche Werkstatt-Ausbildung genoss ich bei der Kgl. Eisenbahn-Werkstätten-Inspektion in Harburg (1901), in der Werkzeugmaschinenfabrik Ludwig Loewe u. Co. A. G., Berlin (1905), und in der Karlsruher Werkzeugmaschinenfabrik vorm. Gschwindt u. Co., A. G., Karlsruhe (1908).

Vom Oktober 1909 bis März 1911 war ich im Konstruktionsbureau der Neuen Automobil Gesellschaft, Berlin-Oberschöneweide, tätig, darauf je ein halbes Jahr im Berliner und im Görlitzer Bureau des Patentanwalts Dr. B. Alexander-Katz, und danach bis März 1913 im Kgl. maschinentechnischen Bureau des Gross-Schiffahrt-Weges Berlin-Stettin in Niederfinow (Finowkanal).

Seit dem 1. April 1913 bin ich Assistent am Lehrstuhl für theoretische Maschinenlehre an der Grossh. Technischen Hochschule in Karlsruhe. In dieser Stellung fand ich während des Krieges Veranlassung, mich mit dem Studium der künstlichen Glieder und mit der Abfassung der vorliegenden Arbeit zu beschäftigen. Es drängt mich, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimen Hofrat E. Brauer auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen für die Anregungen und die Förderung, die er mir dabei zuteil werden liess.

C. Biel.